



Facultad de Ingeniería y Computación
Escuela Profesional de Ingeniería Industrial

**“Mejoramiento del sistema de tratamiento
de efluentes líquidos alcalinos provenientes
del proceso de teñido textil en la empresa
Franky & Ricky ”**

Presentado por:

Carlos Alonso Paz Rocha

Para Optar por el Título Profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Orientador: José Alberto Aguilar Franco

Arequipa, octubre de 2017

DEDICATORIA

A mi madre Ana Yanina Rocha Oroz, quien es mi motivación y mi fuerza, la luz de mi vida y mi gran maestra.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor José Alberto Aguilar Franco por todos estos años de enseñanzas, apoyo y confianza; y por ser además mi mentor y amigo. A mis compañeros del Instituto de Energía y Medio Ambiente (IEM) – Universidad Católica San Pablo (UCSP): Alexia Pardo Figueroa Dianderas, Giovani Rodolfo Alatrística Góngora, Doris Liliams Bustinza Salinas y Alex Gustavo Escalante Montesinos, por su amistad y por haber sido parte fundamental en el desarrollo de este proyecto.

RESUMEN

El presente estudio consiste en el mejoramiento del sistema de tratamiento de efluentes alcalinos textiles de la empresa Franky & Ricky, para que de esta forma le sea factible reutilizar sus aguas residuales, generando ahorros importantes para la organización y elevando la productividad de sus procesos.

Para el desarrollo del sistema de tratamiento mejorado se rediseñaron y adicionaron procesos, dividiendo el sistema en 3 unidades constitutivas.

La primera es la unidad de filtrado continuo, en la cual se monitoreó la cantidad de sólidos retenidos con el filtro existente y se optó por adicionar uno que posea una malla de filtrado con menor diámetro para incrementar la retención de sólidos presentes en el efluente.

La segunda unidad es la de neutralización, en la cual se reduce la alcalinidad de los efluentes textiles. Como parte de su desarrollo, se contrataron los servicios de una empresa especializada para el monitoreo de los parámetros de los gases de chimenea de la empresa Franky & Ricky; con ello, se obtuvieron valores tales como la concentración de CO₂ y el flujo volumétrico de la chimenea, que permitieron calcular la dosis a aplicar para la neutralización del efluente, reemplazando así el uso de ácido acético.

La tercera unidad es la de decoloración, en la cual se llevan a cabo los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. Para la determinación del coagulante a emplear y las dosis a aplicar, se realizaron ensayos de jarras en laboratorio, cuyos resultados sugirieron optar por la decisión de emplear Perifloc (derivado de poliamina), que actúa como coagulante y floculante, y se fijaron las dosis según la coloración del efluente y su carga.

Se monitorearon los efluentes alcalinos tratados en función de los parámetros de pH,

temperatura, DBO, DQO y sólidos suspendidos. Los resultados obtenidos muestran que se cumple con todos los estándares establecidos por la normativa ambiental vigente.

Adicionalmente, se realizaron pruebas sobre las telas teñidas con efluentes tratados empleando normas internacionales de calidad, obteniéndose como resultado que se cumplen con las exigencias de cada una de ellas.

Finalmente, se realizó un análisis costo-beneficio del sistema, evidenciándose un importante ahorro económico debido al reaprovechamiento del efluente, concluyendo así que el sistema de tratamientos mejorado es adecuado para los objetivos estratégicos de la empresa.

Palabras clave: *Tratamiento de efluentes, Aprovechamiento de efluentes, Industria textil, Coagulación, Floculación.*

ABSTRACT

The present study is aimed to improve the wastewater treatment system of textile alkaline effluents from the company Franky & Ricky. This treatment is done in order to allow the reuse of this industrial wastewater in productive process, generating significant savings for the organization, raising the productivity of their processes, and also avoiding negative impacts to the environment.

For the development of this improved wastewater treatment system, we redesigned and added processes to the original wastewater treatment system where all basic process were done in a only physical unit; under this logic, we divided the system into three constituent units.

The first is the continuous filtration unit, in which the amount of solids retained with the existing filter was monitored and then we added a mesh filter with smaller diameter to increase the retention of solids present in the effluent.

The second unit is the neutralization, in which the alkalinity of textile effluents is reduced by the acidification by CO₂ from gases of Chimney. As part of its development, specialized services for monitoring parameters of the flue gases company Franky & Ricky company were hired; thus, values such as the CO₂ concentration and the volumetric flow of the chimney, allowed to calculate the dose of chimney gases to be applied for neutralization of the effluent, replacing the use of acetic acid that was used in the original wastewater treatment system.

The third unit allows the discoloration of textile effluents, which is carried out by the processes of coagulation, flocculation and sedimentation. To determine the coagulant to be used

and the dose to be applied, jar tests were performed in laboratory, the results suggested the use of Perifloc (polyamine derivative) which acts as a coagulant and flocculant, and according to the jar-test, the doses were set according coloration of the effluent and its load. Alkaline effluents were treated monitoring the parameters of pH, temperature, BOD, COD and suspended solids.

The results show that the improved wastewater treatment system allows being in rule to all the maximum admissible values from environmental regulations of wastewater. Additionally, tests on fabrics stained treated effluents were performed using international quality standards, resulting in that meet the requirements of each of them.

Finally, a cost-benefit analysis was performed, demonstrating significant financial savings due to reuse of effluents, concluding that the treatment system is suitable for improved strategic objectives of the company.

Key words: Effluent treatment, Effluent reuse, Textile industry, Coagulation, Flocculation

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Generales de la organización.....	1
1.1.1 Antecedentes y condiciones actuales de la organización.....	1
1.1.2 Sector y actividad económica.....	2
1.1.3 Misión, visión y valores.....	4
1.1.3.1 Visión.....	4
1.1.3.2 Misión.....	4
1.1.3.3 Valores.....	4
1.1.4 Política de la Organización.....	4
1.1.5 Organización.....	5
1.1.6 Principales procesos y operaciones y capacidad operativa.....	5
1.1.6.1 Tejeduría.....	5
1.1.6.2 Tintorería.....	6
1.1.6.3 Corte.....	11
1.1.6.4 Escogido.....	12
1.1.6.5 Confección.....	12
1.1.6.6 Bordado y estampado.....	12
1.1.6.7 Acabados.....	13
1.2 Planteamiento del Problema.....	14
1.2.1 Descripción del Problema.....	14

1.2.2	Formulación del Problema (Interrogante principal).....	14
1.2.3	Sistematización del problema (Interrogantes secundarias).....	15
1.3	Objetivos.....	15
1.3.1	Objetivo general.....	15
1.3.2	Objetivos específicos.....	15
1.4	Justificación del proyecto.....	16
1.4.1	Justificación Práctica.....	16
1.4.1.1	Política, Económica, Social y/o Medioambiental.....	16
1.4.1.2	Profesional, Académica y/o Personal.....	17
1.5	Alcances del Proyecto.....	18
1.5.1	Temático.....	18
1.5.2	Espacial.....	18
1.5.3	Temporal.....	19
CAPÍTULO 2: MARCO DE REFERENCIA.....		19
2.1	Antecedentes de Investigación sobre el tema.....	19
2.2	Marco de Referencia Teórico.....	22
2.2.1	Efluentes textiles alcalinos.....	22
2.2.2	Parámetros y calidad del agua.....	22
2.2.2.1	Características físicas y organolépticas.....	22
2.2.2.2	Características químicas.....	25
2.2.3	Impacto de los efluentes textiles alcalinos.....	26
2.2.4	Métodos de tratamiento de efluentes textiles alcalinos.....	28

2.2.4.1 Tratamientos físico químicos.....	28
2.2.5 Etapas de tratamiento.....	29
2.2.5.1 Tratamiento preliminar.....	29
2.2.5.2 Tratamiento primario.....	30
2.2.5.3 Tratamiento secundario.....	32
2.3 Criterios ambientales.....	33
2.4 Marco de Referencia Conceptual.....	34
CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO OPERACION.....	35
3.1 Aspectos metodológicos de la Investigación.....	35
3.1.1 Diseño de Investigación.....	35
3.1.2 Tipo de Investigación.....	36
3.1.3 Métodos de Investigación.....	36
3.1.4 Técnicas de investigación.....	37
3.1.4.1 Recolección de datos.....	37
3.1.4.2 Análisis de datos.....	37
3.1.5 Instrumentos de investigación.....	38
3.1.6 Plan Muestral.....	38
3.2 Aspectos metodológicos para la propuesta de mejora.....	39
3.2.1 Métodos de ingeniería a aplicarse.....	39
3.2.2 Técnicas y herramientas de ingeniería a aplicarse.....	40
CAPÍTULO 4: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	41
4.1 Plan estratégico (Políticas, Objetivos, Estrategias de la Organización).....	41

4.2 Cumplimiento de los objetivos estratégicos.....	41
4.3 Evaluación de los procesos involucrados.....	42
4.4 Identificación de los puntos de mejora.....	44
CAPÍTULO 5: PROPUESTA DE MEJORA	46
5.1 Recopilación de Datos del Problema.....	46
5.2 Análisis Causa Efecto.....	47
5.3 Planteamiento de mejoras.....	47
5.4 Diseño del sistema.....	48
5.4.1 Diseño de la unidad de filtrado continuo.....	48
5.4.2 Diseño de la unidad de neutralización.....	49
5.4.3 Diseño de la unidad de decoloración.....	55
5.4.4 Diagrama de proceso.....	61
CAPÍTULO 6: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	63
6.1 Construcción de las unidades constitutivas.....	63
6.1.1 Unidad de filtrado continuo.....	63
6.1.2 Unidad de neutralización.....	64
6.1.3 Unidad de decoloración físico-química.....	67
6.2 Integración de las partes constitutivas.....	70
CAPÍTULO 7: EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	71
7.1 Desarrollo de pruebas.....	71
7.1.1 Prueba de SST.....	72
7.1.2 Prueba de pH y temperatura.....	72
7.1.3 Prueba de DBO.....	73

7.1.4 Prueba de DQO.....	73
7.1.5 Prueba de teñido con efluentes tratados.....	74
7.2 Resultados.....	75
7.2.1 Resultados del desempeño del sistema.....	75
7.2.3 Resultados de teñido con efluentes tratados.....	78
7.3 Análisis de costo-beneficio.....	79
7.3.1 Análisis de costos.....	79
7.3.2 Flujo de caja.....	86
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	95
ANEXOS.....	97

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Valores máximos admisibles.....	33
Tabla 2 Parámetros de los gases de chimenea.....	50
Tabla 3 Parámetros complementarios de los gases de chimenea.....	51
Tabla 4 Cantidad requerida para neutralizar soda caustica a pH 8.5.....	53
Tabla 5 Matriz de evaluación de desempeño del sistema de tratamiento.....	76
Tabla 6 Resultados de teñido con efluentes tratados.....	78
Tabla 7 Condiciones de dosificación del coagulante Perifloc R.....	80
Tabla 8 Consolidado de costos y beneficios.....	85
Tabla 9 Presupuesto del proyecto.....	86
Tabla 10 Costos variables de tratamiento de efluentes.....	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Proceso de producción textil de la empresa Franky y Ricky.....	13
Figura 2 Sistema de tratamiento de efluentes actual.....	44
Figura 3 Curva de neutralización.....	52
Figura 4 Diagrama del sistema de tratamiento mejorado.....	62
Figura 5 Sistema de tuberías.....	63
Figura 6 Filtro en Y.....	64
Figura 7 Pozo de neutralización.....	65
Figura 8 Unidad de neutralizador.....	67
Figura 9 Pozo de floculación.....	68
Figura 10 Sistema de tuberías del pozo de floculación.....	68
Figura 11 Pozo de sedimentación.....	69
Figura 12 Muro de madera.....	70
Figura 13 Distribución de agua.....	84

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las empresas se ven obligadas a competir ferozmente para poder permanecer en un mercado que es cada vez más globalizado y exigente; deben hacer extenso uso de sus fortalezas y ver en cada debilidad una oportunidad de mejora, hallar recursos donde otros ven desperdicios.

Es así que surge la idea de reaprovechar efluentes a través de la mejora de procesos e innovación tecnológica para así obtener beneficios económicos que incrementen la competitividad de la empresa, y a su vez generar un impacto positivo en el medio ambiente.

La presente investigación es resultado de la sinergia entre el Estado Peruano (recursos), la empresa Franky & Ricky (experiencia) y la Universidad Católica San Pablo (conocimiento) que trabajaron en conjunto para el desarrollo de este proyecto de innovación, con el fin último de incrementar la competitividad del sector textil en la Región mediante la generación de conocimientos replicables por otras empresas locales.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Generales de la organización

1.1.1. Antecedentes y condiciones actuales de la organización.

Franky y Ricky es una empresa dedicada a la producción de artículos y prendas de algodón de alta calidad, lo que le ha permitido posicionarse en el mercado de Europa y Estados Unidos de América. Sin embargo, la agresiva competitividad entre empresas del ramo textil confeccionista dentro de un mercado globalizado, así como la innovación y diversificación de los productos de moda, llevan a las empresas a identificar aquellos factores clave para su éxito a fin de potenciarlo; y por supuesto, a encontrar sus mayores debilidades para superarlas lo que le permitirá asegurar su supervivencia. Dentro de este entorno no está ajena la Sostenibilidad Ambiental como un valor y un compromiso que toda empresa debe tener con las generaciones venideras y en unión con lo mencionado anteriormente.

Franky y Ricky S. A. tiene el firme propósito de alcanzar la más alta Ecoeficiencia logrando ser, a este momento, una de las más competitivas dentro del sector de confecciones de tejido de punto de algodón cuyos productos son muy valorados en el mercado internacional, siendo sus principales clientes Alemania, Estados Unidos, Holanda, Francia y Brasil, siendo algunos de sus competidores internacionales Portugal, Marruecos, India, Bangladesh y dentro del ámbito nacional Nettelco y San Cristóbal.

Franky y Ricky S. A. cuenta con dos plantas, la primera que alberga los procesos de tejido, teñido y corte de tejido de punto y la otra, a los procesos de costura, bordados, estampados, acabados, despacho y oficinas administrativas contando para ello con la participación directa de más de 680 colaboradores e indirecta de 250 en talleres externos. Sus principales proveedores son empresas peruanas como La Colonial Fabrica de Hilos S. A.,

Empresa Algodonera S. A., Industria Textil Piura S. A., Creditex S. A. A., así como Clariant (Perú) S. A., Química Suiza S. A., Insumos Químicos Alfa S. A. C. entre otras.

La participación de la empresa en el mercado global esta direccionada hacia un segmento económico medio-alto siendo la estrategia de diferenciación de producto por su alto valor agregado. Dentro de sus principales clientes encontramos a Bobby Jones C/O Transapparel group, Fairway y Greene, Inca-Clark Ross Textilhandel GMBH, Lacoste, Psycho Bunny, Scott Barber, Dillards, Approvato Fashion B. V, Brooksfeld, Leineweber GMBH y Co KG, etc. los cuales también son codiciados por la competencia que tienen en Portugal, India, Bangladesh y por supuesto China.

El volumen de ventas en promedio asciende a las 70,000 prendas mensuales equivalente a una facturación aproximada de US\$ 1, 000,000.00.

1.1.2. Sector y actividad económica.

El sector textil y de confecciones abarca una serie de actividades que incluye el tratamiento de fibras naturales o artificiales para la elaboración de hilos, continúa con la fabricación y acabado de telas, y finaliza con la confección de prendas de vestir y otros artículos. La producción de textiles y confecciones en el Perú ha mostrado un gran crecimiento los últimos años y su crecimiento en el mercado internacional ha estado basado en ventajas competitivas entre las que se mencionan la alta calidad y prestigio de las fibras peruanas y el alto nivel de integración del sector a lo largo del proceso productivo. Además, es importante considerar la inversión de las empresas del sector en maquinaria y equipo textil de última generación para la producción de hilados y fibras. (CENTRUM, 2010)

El reporte financiero Burkenroad Perú (2010) distingue dos grandes subsectores dentro de la gran cadena de valor que constituye la actividad manufacturera textil: la industria textil propiamente dicha y la industria de la confección.

La primera abarca desde la etapa inicial del desmote del algodón hasta la elaboración de telas acabadas e incluye a su vez, a las actividades de hilado, tejido y teñido acabado. De otra parte, la segunda comprende todas las actividades vinculadas a la confección de prendas de vestir.

El subsector de producción de fibras, hilados y tejidos cuenta con nueve categorías de productos: fibras naturales, fibras artificiales, tejidos planos, tejidos de punto, tejidos industriales, revestimientos para pisos, productos para el hogar, textiles no tejidos y sogas. Esta producción se destina mayoritariamente a confecciones para exportación: fabricación de textiles de algodón, como es en el caso de la empresa Franky y Ricky, lo cual representa un 60%, fabricación de textiles de fibras sintéticas, representa un 35% y fabricación de textiles con fibras de origen animal, 5%. A pesar que Perú tiene ventajas competitivas para fabricación de tejidos de pelo de alpaca y vicuña (CENTRUM, 2010). Los principales productos del sector son prendas de vestir, entre las cuales tenemos polos, pantalones, suéteres, camisas.

La cadena productiva textil se inicia con la recolección de materias primas que son algodón, pelo de alpaca y fibras sintéticas importadas de industria petroquímica, se continúa con el procesamiento y finaliza con la obtención de fibras, hilados y tejidos (Maximixe, 2009).

1.1.3. Misión, visión y valores

1.1.3.1. Visión

En el mejor lugar para trabajar construimos relaciones con nuestros clientes, dándoles valor más allá de sus expectativas.

1.1.3.2. Misión

Comprometidos con nuestros clientes, brindamos al mundo prendas exclusivas elaboradas con telas únicas y naturales. Desarrollamos a nuestra gente, en el ámbito de la Responsabilidad Social Empresarial.

1.1.3.3. Valores

- Compromiso
- Flexibilidad
- Apasionados por mejorar
- Austeridad
- Proactividad
- Trabajo en Equipo
- Familia

1.1.4. Política de la Organización.

En la empresa Franky y Ricky se encargan de satisfacer a sus clientes con prendas de vestir de alto valor agregado y servicio diferenciado.

Trabajan con calidad, responsabilidad social y ambiental, previniendo actividades ilícitas y promoviendo la seguridad y salud de su personal.

Se encuentran comprometidos a cumplir con los requisitos de las normas ISO 9001, SA8000 y BASC, la legislación nacional vigente, convenios internacionales y otras leyes aplicables.

Como parte de su política está la mejora de la eficacia de sus sistemas de gestión y la revisión de sus objetivos periódicamente.

La presente Política es comunicada y entendida dentro de la organización y se encuentra disponible para el público en general. Asimismo es revisada para su continua adecuación.

1.1.5. Organización.

La estructura organizacional de Franky y Ricky ha sido diseñada en concordancia con los objetivos estratégicos de la empresa, considerando los perfiles y competencias que requiere cada puesto de trabajo e identificando y ubicando a la persona correcta para cada uno de esos puestos.

Los procesos de selección, capacitación, entrenamiento y desarrollo de personas responden a los perfiles y competencias definidas y los sistemas de remuneraciones están alineados a la valorización de puestos y a la evaluación de desempeño.

1.1.6. Principales procesos y operaciones y capacidad operativa

1.1.6.1. Tejeduría

Franky y Ricky tiene una moderna planta de Tejeduría. Cuenta con máquinas circulares de muy avanzada tecnología de fabricación Alemana y Americana de gran flexibilidad y

productividad para trabajar telas en colores sólidos, listados, listados de ingeniería, jacquars y combinaciones de éstos; como por ejemplo Terrot, Mayer, Vanguard, Shima y Protti.

Asimismo, Franky y Ricky cuenta con personal técnico altamente calificado que se capacita periódicamente para lograr diversidades de tejidos de la más alta calidad.

Entre ellos en encuentra:

- Estructura
- Pique
- Jersey
- Interlock
- Rib
- Mini Jacquars
- Franela
- Felpa
- Waffle
- Perle
- Ottoman
- Desagujados

1.1.6.2. Tintorería

Franky y Ricky tiene una moderna planta de Tintorería. Cuenta con maquinaria de alta tecnología de fabricación Suiza e Italiana con barcas desde 40 kg hasta 500 kg lo que permite mucha flexibilidad y rapidez en el proceso, el cual continúa a través de una hidroextractora y

secadora. Asimismo, los acabados de tela tienen unos estándares de calidad altos debido a la compactación mecánica de la tela (aditivos químicos no son utilizados).

Este proceso hace uso de elevadas cantidades de agua, las cuales son levemente tratadas antes de ser dispuestas en el alcantarillado municipal. Estos efluentes alcalinos son lo que el estudio pretende tratar para así alcancen las características deseadas que permitan su reutilización.

Descrude

El proceso se desarrolla en barca torniquete (B-06) trabajando con una relación de baño 1:14. Para ello se emplean 5 Kg. de tela pique 24/1 y 70 L. de efluente. El proceso de descrude (sin blanqueo) se inicia llenando la barca de teñido con el agua de suministro en la cantidad indicada. Seguidamente se procede a agregar los productos auxiliares propios para esta etapa de teñido, el cual tiene la finalidad de eliminar las ceras, grasas, pectinas e impurezas de algodón y obtener, finalmente, telas limpias é hidrofílicas, aptas para el teñido.

Se emplean los siguientes productos auxiliares en las concentraciones siguientes:

- Albaflow Jet..... 0.1 g/l
- Rapiwet SRM..... 0.5 g/l
- Quimdet ECO FR..... 1.5 g/l
- Imacol J 3.0 %
- Merququest OM-300 1.0 g/l
- Soda Caustica al 50%..... 4.0 %

Las condiciones de trabajo son:

- Temperatura de Descrude92°C
- Tiempo de Descrude..... 45 min.

Enjuague

Culminado el proceso de descrude se brinda dos enjuagues (baños) a la tela:

- Un rebose cuando el sistema está a 80°C por 5 minutos
- Un enjuague a 70°C por 10 minutos

Neutralizado

Posterior a la realización de estos dos enjuagues, se procede a iniciar el proceso de neutralizado de la tela, empleando para ello “agua limpia” (agua blanda de los pozos), al cual se agregaron los productos propios requeridos para esta etapa, con la finalidad de inhibir la acción alcalina de la soda y así obtener un rango aceptable de pH entre 6 – 7.

Los productos y cantidades que se emplearon para este proceso fueron:

- Ácido Acético 0.8 g/l
- Helpazyme CR 0.6 %
- Ácido acético 0.6 g/l

Humectación

Teniendo ya la tela en el pH adecuado se procede a la humectación, esto con el objetivo de facilitar la penetración de los colorantes disueltos en los espacios intermiscelares de las fibras. Esta etapa se realiza empleando agua de suministro.

Los productos auxiliares que se utilizan son:

- Albaflow Jet..... 0.15 g/l
- Merquiest OM-300 2.0 g/l
- Igualante MQT 1.5 g/l

Las condiciones de trabajo son:

- Temperatura..... 50°C

Color

Para la etapa de adición de color, se pesa y disuelve el colorante de acuerdo a la formulación previamente realizada en el laboratorio de color. Para el caso de teñido en color Negro, la formulación es la siguiente:

- Amarillo FN2R (0.9%)..... 45 gr
- Marino FNBN (3%).....150 gr
- Negro WNN (9.9%).....495 gr

Las condiciones de trabajo son:

- Temperatura..... 65°C

.

Tintura

Luego de ingresar el colorante y brindar el correspondiente tiempo de igualación, se procede a agregar el electrolito (sal textil) que posibilita que el colorante tenga mayor sustentividad (subida del colorante). Se brinda un tiempo prudencial de proceso y luego se procede a la adición del Carbonato de Sodio, que es un álcali débil, posteriormente se adiciona el álcali fuerte, que es la soda cáustica al 50% (46°Bé). Éstos brindan el medio y las condiciones de pH para que reaccione el colorante con la fibra celulósica y se produzca la fijación.

Las cantidades son las siguientes:

- Sal textil (100 g/l)..... 8.400 Kg.
- Carbonato (5 g/l)..... 35 gr.
- Soda Caustica 50% (2.5 g/l) 175 gr.

Las condiciones de trabajo son:

- Temperatura..... 65°C
- Tiempo 60 min.

Jabonado y enjuague

Pasado el tiempo de proceso (fijación), se elimina el baño de tintura y se inicia el proceso de Jabonado para eliminar el colorante hidrolizado (no fijado) que es aquel que reaccionó con el agua en lugar de haber reaccionado con la Celulosa.

Se realizan dos Jabonados, 2 Enjuagues y 1 Neutralizado. Los productos que se utilizan son:

- Ácido acético (0.5%).....3.5 ml.
- Quionsoap WFE (2 g/l)..... 140 ml.
- Breviol LGG (2.0 %)..... 100 gr.

Las condiciones de trabajo son:

- Temperatura Jabonado 92°C
- Temperatura Enjuagues 45°C
- Temperatura Neutralizado..... 50°C

Suavizado

Esta es la última etapa del proceso del teñido, donde se brinda las condiciones organolépticas de tacto apropiadas a la tela, en el lenguaje textil se denomina “mano” que involucra principalmente el tacto suave del textil requeridos por los clientes de la empresa.

Los productos auxiliares empleados son:

- Reacid (0.3 g/l) 21 ml.
- Kelcer NE (6%)..... 300 gr.

Las condiciones de trabajo son:

- Temperatura 45°C
- Tiempo..... 20 min.

Luego de esta última etapa de teñido, la tela teñida y completamente mojada pasa a los siguientes procesos:

- Hidroextractora (eliminar el agua).
- Secado
- Planchado y compactado

1.1.6.3. Corte

Franky y Ricky cuenta con un moderno equipo para el patronaje de moldes, trazado y simulaciones, utilizando un sistema GGT Inc. (Gerber Garment Technology), de última generación obteniendo los más acertados consumos de tela. En este proceso se corta la tela ya teñida mediante el uso de moldes y así obtener las partes de la prenda que posteriormente serán unificadas mediante el proceso de confección.

1.1.6.4. Escogido

Se realiza un proceso de escogido que diferencia a Franky y Ricky de sus competidores ya que se realiza un control de calidad a cada uno de los componentes cortados previos al ensamble; lo cual permite garantizar un producto de elevada calidad.

1.1.6.5. Confección

Franky y Ricky cuenta con una moderna planta de Confecciones con maquinaria de alta tecnología de fabricación Alemana, Japonesa y Americana. Asimismo, utiliza accesorios a la medida que permiten ofrecer a sus clientes una calidad superior con gran variedad de operaciones que resaltan la prenda y le dan un alto valor agregado.

Cuenta con una planta versátil, con procesos de vanguardia como sistemas modulares de ensamble y sistemas de manufactura flexible. Franky y Ricky cuenta con un centro de entrenamiento para sus operarios lo que permite mantenerlos altamente capacitados, con lo que garantizamos el cumplimiento al 100% de las especificaciones de los clientes. En esta etapa, la empresa se encarga de unir las partes de la prenda textil, tales como mangas, cuellos botone y demás accesorios.

1.1.6.6. Bordado y estampado

Franky y Ricky cuenta con una planta de Bordados y Estampados la cual permite ofrecer aplicaciones para una mejor presentación final de sus prendas, ofreciendo así un mayor valor agregado.

1.1.6.7. Acabados

Franky y Ricky cuenta con una planta de Acabados en prenda que brinda una presentación superior a sus productos para mayor satisfacción de sus clientes.

En la Figura 1 se puede apreciar el proceso completo de producción de la empresa Franky y Ricky desde que recepciona los hilos de algodón hasta que almacena los bienes terminados.

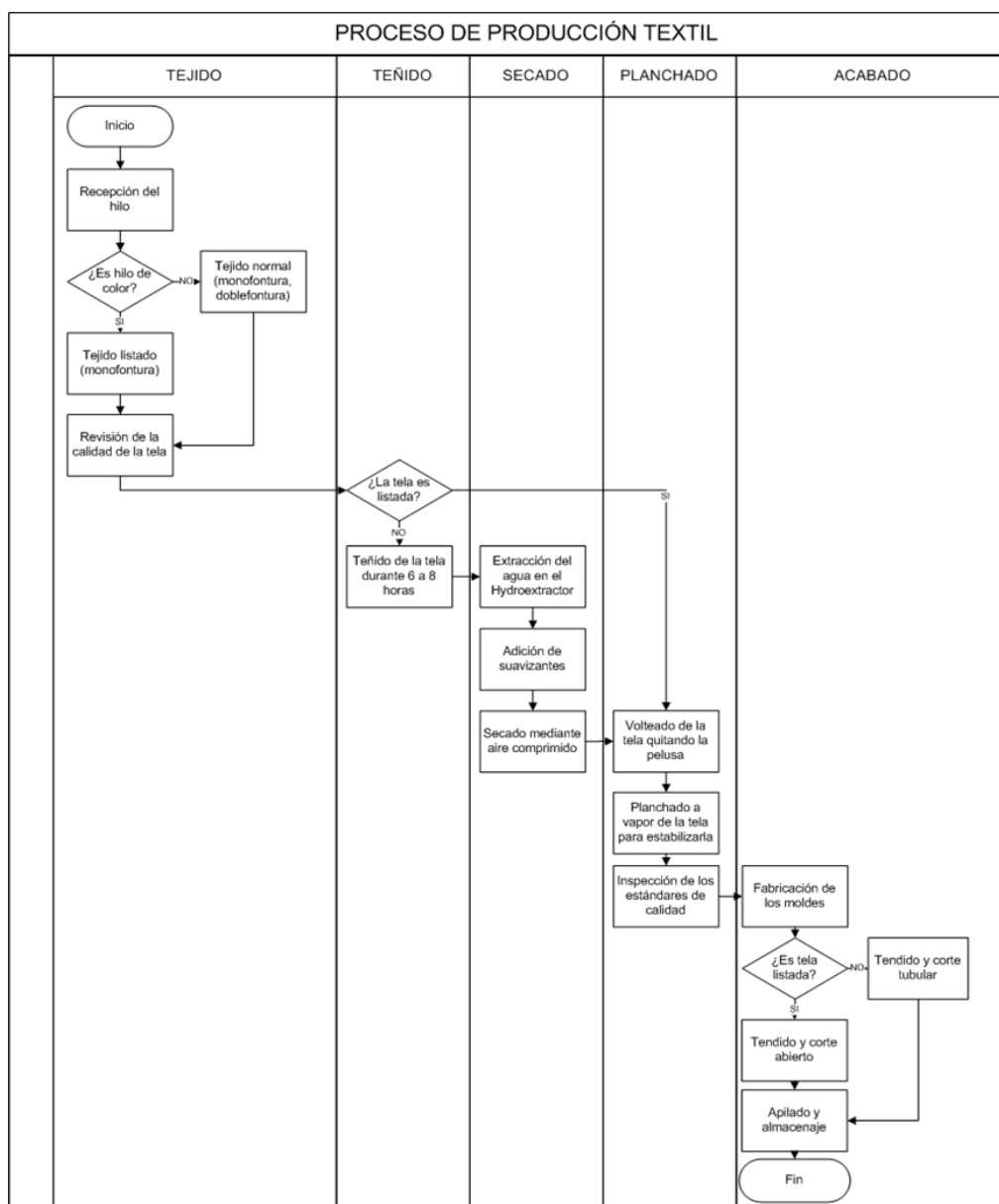


Figura 1: Proceso de producción textil de la empresa Franky y Ricky

Fuente: Elaboración propia

1.2. Planteamiento del Problema.

1.2.1. Descripción del Problema.

Franky y Ricky es una empresa dedicada a la producción de artículos y prendas de algodón; para lo cual, y como parte de sus actividades, emplea grandes cantidades de agua para la operación de sus procesos de teñido y lavado textil, haciendo uso además de diferentes químicos a elevadas concentraciones que dañan seriamente la calidad de este recurso e incrementan su alcalinidad. Estos efluentes son expulsados a la red de alcantarillado municipal, por lo que debe realizarse un tratamiento de los mismos.

En la actualidad, la empresa cuenta con una planta de tratamiento de efluentes que le permite alcanzar niveles de contaminación por debajo de los Valores Máximos Admisibles descritos por el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, cumpliendo con la normatividad vigente, mas no con los estándares requeridos (pH, DBO, DQO, color) para su reaprovechamiento.

Por lo tanto, el actual método empleado para el tratamiento de sus efluentes alcalinos se presenta como el principal problema que impide a la empresa alcanzar las características físico-químicas requeridas en el efluente alcalino para su reaprovechamiento en su línea de producción, específicamente en el área de teñido textil.

1.2.2. Formulación del Problema (Interrogante principal)

- ¿La aplicación de mejoras en el sistema de tratamiento de efluentes de la empresa Franky y Ricky permite el posterior reaprovechamiento de los mismos en sus actividades de teñido textil?

1.2.3. Sistematización del problema (Interrogantes secundarias)

- ¿La gestión de aguas residuales beneficia económicamente a la empresa?
- ¿La inclusión de un tratamiento secundario en el sistema garantiza la obtención de las características físico-químicas deseadas?
- ¿Son los gases de chimenea eficientes agentes neutralizadores de efluentes alcalinos?
- ¿La calidad del producto final es la misma al ser teñida con agua municipal que con efluentes tratados?
- ¿Cuáles son los factores críticos en el proceso de tratamiento de efluentes?
- ¿Se cumplen las normas y decreto ambientales?

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

Mejoramiento del sistema de tratamiento de efluentes líquidos alcalinos a través del rediseño y optimización de sus procesos, para el cumplimiento de las características físico-químicas requeridas y el reaprovechamiento de efluentes en la etapa de teñido textil en la empresa Franky y Ricky.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Análisis de la situación actual del sistema de tratamiento de efluentes alcalinos.
- Elaboración de propuesta de mejora del sistema de tratamiento de efluentes para que sea posible el posterior reaprovechamiento de los mismos.
- Implementación de los cambios en el sistema de tratamiento de efluentes alcalinos.
- Análisis en laboratorio de las características físico-químicas (nivel de pH, porcentaje DBO, DQO, características ópticas del efluente) de las muestras de efluentes alcalinos tratados con el sistema mejorado.
- Análisis costo-beneficio del sistema de tratamiento de efluentes alcalinos.

1.4. Justificación del proyecto.

1.4.1. Justificación Práctica

1.4.1.1. Política, Económica, Social y/o Medioambiental.

El sector industrial cuenta con una gran variedad de subsectores dentro de los cuales se encuentra el textil, el cual está conformado por empresas que en su mayoría consumen grandes cantidades de insumos tales como energía eléctrica, térmica o recursos hídricos. Considerando los últimos antes mencionados, existen normas ambientales reguladoras que exigen que las empresas traten sus aguas residuales resultantes de sus actividades productivas antes de su disposición final, siendo las principales las de teñido textil y lavado por su alto consumo de agua y elevadas cantidades de químicos requeridos.

Entre estas normas se encuentra el D.S. N° 021-2009-VIVIENDA - en los que se aprueban y señalan los Valores Máximos Admisibles. Con el presente estudio se busca minimizar el impacto ambiental generado por los aspectos ambientales de la empresa Franky y

Ricky, entre los cuales tenemos los efluentes textiles alcalinos y los gases de chimenea, producto de sus operaciones.

En el aspecto económico, el estudio se justifica debido a que se prevé la reducción de los costos, al sustituir los ácidos que se emplean para neutralizar los efluentes alcalinos por los gases de chimenea. Por otro lado, al tener la posibilidad de reutilizar el agua tratada en el proceso de teñido, se genera un ahorro de costos de aproximadamente de US\$ 3500.00 mensuales.

En el ámbito social y ambiental, un adecuado tratamiento de los efluentes dentro de la industria, beneficiaría directamente al Servicio de agua potable y alcantarillado de Arequipa (Sedapar) y a la junta de regantes del Rio Chili y a toda la comunidad arequipeña, muy en particular aquellas que viven en las partes bajas de la ciudad y cuya actividad principal es la agricultura.

Además se logrará mejorar la imagen de la empresa en la industria textil a nivel nacional e internacional, sobre todo en el aspecto de buenas prácticas manufactureras y ecoeficiencia, dentro de un ámbito de responsabilidad social empresarial y cumpliendo los requerimientos medioambientales de mercados exclusivos.

Todo lo anterior repercutirá finalmente en una mejora de la rentabilidad de la compañía, haciéndola más competitiva a nivel nacional e internacional, y finalmente beneficiando a todos los stakeholders relacionados.

1.4.1.2. Profesional, Académica y/o Personal.

El presente estudio me permitirá profundizar más en los aspectos importantes dentro de la industria textil en la ciudad de Arequipa. Adicionalmente, ayudará a mejorar mis habilidades

profesionales relacionadas al ámbito de la gestión de recursos, gestión ambiental, innovación, proyectos y análisis de costos, así como también los aspectos relacionados al trabajo en equipo, comunicación y responsabilidad.

El desarrollo del estudio contribuirá al logro del Título Profesional de Ingeniería Industrial, además que servirá de herramienta tanto a las empresas como a los próximos bachilleres que se encuentren interesados en la mejora de procesos del sector textil, así como también todo aquello relacionado al tratamiento de efluentes y gestión de residuos.

El presente estudio representa un gran paso para mi desarrollo personal y el cumplimiento de mis objetivos. Refleja el esfuerzo realizado de forma constante por varios años de mi vida, y que me lleva a plantearme nuevas metas que favorezcan a mi crecimiento personal de forma permanente.

1.5. Alcances del Proyecto

1.5.1. Temático.

La presente investigación pretende mejorar los procesos involucrados en el sistema de tratamiento de efluentes a fin de que estos puedan ser posteriormente reutilizados. La investigación abarca únicamente los procesos del sistema de tratamiento, el cual inicia en la recepción de los efluentes en la unidad de filtrado continuo, y finaliza en la unidad de decoloración con el efluente apto para su reaprovechamiento.

1.5.2. Espacial.

La investigación fue realizada en las instalaciones de la empresa Franky y Ricky, en la planta del Sr. De La Caña, que es donde está situada el área de tintorería y el sistema de

tratamiento de efluentes. En esta planta se implementaron las mejoras y se realizaron los análisis de las muestras del sistema actual y del mejorado. Pruebas adicionales fueron realizadas en el Instituto de Energía y Medio Ambiente de la Universidad Católica San Pablo y en laboratorios certificados.

1.5.3. Temporal.

La investigación requirió un análisis inicial del sistema y de los efluentes para el diseño e implementación de las mejoras, así como pruebas de las unidades constitutivas del sistema de tratamiento mejorado y los efluentes conseguidos; por ello, el desarrollo del proyecto constó de 24 meses dividido en 4 hitos de 6 meses cada uno.

CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes de Investigación sobre el tema.

Actualmente se están realizando investigaciones sobre la neutralización y decoloración de efluentes dentro de los cuales tenemos a Hincapié D. et al (2009), quienes realizaron un estudio sobre el proceso de neutralización de aguas residuales industriales alcalinas mediante el uso de gases de chimenea. El trabajo experimental se realizó empleando un sistema piloto, compuesto por un eyector venturi y un tanque de neutralización; en dicho trabajo se concluyó que el proceso de neutralización de aguas alcalinas con gases de chimenea es técnicamente factible, inclusive para gases con baja concentración de CO_2 (8%). El mejor pH de salida se logra con una relación de flujos gas-líquido de 8,74 (flujo de agua alcalina = 0,2 l/min) y una concentración de CO_2 del 14% V/V.

Por su parte, Luis Goyzueta (2007) realizó un estudio sobre la decoloración de los efluentes con el empleo de *saccharomyces cerevisiae* obteniendo resultados óptimos de un estado de turbidez elevado a un estado de turbidez bajo. El trabajo fue desarrollado a distintas concentraciones y condiciones, y se evidenció que la enzima se alimentaba de los residuos de colorantes hidrolizado, lo que permitió la limpieza de los agentes que causaban la turbiedad del efluente. De acuerdo a los resultados, la efectividad de la acción microbiana resultó estar en un pH alrededor de 8 y el tiempo en 14 horas.

Enelio Jaramillo (2012) realizó un estudio que aplicaba la electrocoagulación de los efluentes de tintorería para la desestabilización de los contaminantes en forma de suspensión coloidal; de esta forma, facilitaría su remoción. Mediante ensayos Bach, se alcanzó la separación del 20% de sólidos suspendidos, 40% de DBO y 65% de DQO, variables consideradas en el presente estudio.

Por otro lado, estudios realizados por Baunmgarten (2010), entre otros, indican que el proceso más empleado para tratar estos efluentes son los biológicos; entre los cuales, el proceso más empleado es el de Fangos Activados (FA). En estos procesos, la biodegradación de la materia orgánica se lleva a cabo mediante la acción de microorganismos en condiciones aerobias, y la separación sólido-líquido se lleva a cabo mediante un clarificador secundario. Si bien es cierto que Los requerimientos normativos, así como la necesidad de ahorrar y/o reutilizar agua en la industria, hace necesario que se investigue nuevos procesos que permitan mejorar la remoción de componentes difícilmente biodegradables, partículas coloidales, virus, bacterias y permitan la posibilidad de la incorporación del efluente en el proceso productivo.

En la actualidad existen numerosas modificaciones al proceso de fangos activados, una de ellas es el proceso de Biorreactor de Membrana (BRM). Varios autores sugieren que la

tecnología BRM revolucionará el tratamiento de aguas residuales, debido a que este proceso involucra dos procesos en uno: el reactor biológico y la separación de sólidos mediante membranas de microfiltración (MF) o ultrafiltración (UF). (Salazar, Crespi, y Salazar, 2009)

Sabur, Khan y Safiullah (2012) de la Universidad de Jahangirnagar, Bangladesh, estudiaron el efecto que tenía la aplicación del método de coagulación química en efluentes altamente alcalinos. Para la obtención de datos de entrada caracterizaron el efluente textil, el cual presentaba pH 12, demanda química de oxígeno (DQO) 1638 mg O₂/L, sólidos suspendidos totales (SST) 9.76 g/L, sólidos disueltos totales (SDT) 6.62 g/L y turbidez de 31.24 FTU. Para este estudio, emplearon como coagulantes Cloruro de Polialuminio (PAC) y SAFI (mezcla de sales de hierro, manganeso y aluminio) de forma individual y como mezcla en diferentes ratios.

Inicialmente, se realizaron experimentos con 5 pequeños lotes de 200 ml de efluente en vasos de precipitado de 500 ml. El efluente textil fue previamente neutralizado hasta alcanzar pH 7 mediante la adición de ácido acético al 25%. Posterior al ajuste de pH, se agregó a cada vaso de precipitado 5 ml de solución de PAC en diferentes concentraciones (20%, 40%, 60%, 80% y 100%). El tiempo de retención para los procesos de coagulación y sedimentación fueron de 30 minutos. Se analizó la cantidad de materia disuelta y suspendida mediante espectrofotometría UV. Para el caso del coagulante SAFI, se realizaron ensayos similares al que se emplearon con el Cloruro de Polialuminio, con la diferencia que se adicionaron 3 ml de solución de SAFI al 10%. Adicionalmente se evaluó la mezcla de ambos coagulantes a diferentes ratios y similares condiciones.

Como resultados se tiene que para el caso del PAC, la dosis de 5 ml al 100% por 200 ml de efluente alcanza los niveles más bajos de absorbancia a 512 nm. A dicha longitud de onda se observa una reducción de 0.930 a 0.072, mientras que a 380 nm y 296 nm no se presenta

absorbancia. Para el caso de SAFI, las dosis que obtienen los mejores resultados son las de 80% y 100% de coagulante en una solución de 5 ml. La absorbancia a 380 nm y 296 nm es de 0 en ambas; sin embargo, a 512 nm la absorbancia del ensayo al que se adicionó la mezcla al 80% es un poco mayor que la del 100% que también es 0.

Finalmente, para la mezcla de ambos coagulantes, se obtuvieron los mejores resultados al combinar 1 ml de SAFI al 10% y 4 ml de PAC, puesto que la absorbancia se situó en 0 a las longitudes de onda de 512, 380 y 296 nm. Además, el DQO alcanzado fue de 144 mg de O₂/L con una remoción del 91.2%.

2.2. Marco de Referencia Teórico.

2.2.1. Efluentes textiles alcalinos

Los efluentes textiles pueden definirse como la corriente de exceso de licor químico de la industrial textil después de haber sido usado en operaciones de producción. Las aguas residuales generadas en los procesos de tintura y acabados textiles presentan gran variabilidad de caudal y carga contaminante, bajo contenido de materia coloidal y en suspensión. Además, la mayor parte de contaminantes son solubles y moderadamente biodegradables, su carga orgánica media (DQO) es aproximadamente el doble que la de un efluente urbano, su toxicidad es baja comparada con otros sectores industriales y tiene como principales características específicas elevada coloración y salinidad (López y Crespi, 2015).

2.2.2. Parámetros y calidad del agua

2.2.2.1. Características físicas y organolépticas

Carlos Cortina y Ricardo Márquez (2008) se refieren a estas características, en forma general, como mediciones indirectas de componentes químicos presentes en el agua que pueden o no ser tóxicos. Las más importantes son los sólidos en sus diferentes formas: materia flotante, suspendida, coloidal y disuelta; así como la temperatura, olor, color y turbiedad.

Sólidos totales

Caracterizados por el material que arrastran los efluentes industriales, agrícolas y domésticos durante su uso. De forma analítica, se podrían definir como el residuo que permanece una vez evaporada el agua a una temperatura de entre 103 y 105°C (Cortina y Márquez, 2008).

Sólidos disueltos o filtrables

Son componentes de los sólidos totales que comprenden partículas del tamaño de los iones y de los coloides, cuya magnitud oscila entre 10⁻³ y 1 micra. Involucra la presencia de sales disueltas en el agua.

Se entiende por sólido disuelto todo residuo que queda después de filtrar en membranas de 1.2 um de poro y evaporar el agua a 103°C C (Cortina y Márquez, 2008).

Sólidos suspendidos

Cortina las define como partículas de mayor tamaño que una micra, que a su vez incluyen los sólidos sedimentables mayores a 10 micras. Forman parte de los sólidos totales.

Sólidos sedimentables

Son todos aquellos sólidos en suspensión que en estado de reposo tienden a sedimentar por causa de la gravedad. Por lo tanto, estos sólidos suspendidos deberán tener una mayor gravedad específica que la del agua. La acumulación de éstos da lugar a la formación de lodos.

Temperatura

Es una medida relativa de la cantidad de calor contenido en el agua residual. Usualmente la temperatura de las aguas residuales es mayor que la del agua de suministro por la adición de calor que generan los usos domésticos e industriales. Según Carlos Cortina y Ricardo Márquez (2008), la temperatura es muy importante porque afecta a la fauna y flora acuática, la velocidad de reacción bioquímica y la transferencia de gases.

Color

El color es importante, ya que da una indicación rápida de la calidad del agua. Además, tiene su mayor relevancia en el presente estudio puesto que determinará si el efluente tratado puede ser reutilizado en los procesos de teñido textil sin alterar el color y la calidad de la tela.

Turbiedad

La turbiedad incrementa el color aparente del agua, y se debe a la presencia de materia suspendida orgánica e inorgánica como la arcilla, sedimentos, plancton y organismos microscópicos. Lo que se mide como turbiedad es la pérdida de luz transmitida a través de la muestra por difracción de los rayos al chocar con las partículas, y por ello depende no sólo de su concentración, sino también de su tamaño y forma (Cortina y Márquez, 2008).

2.2.2.2. Características químicas

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO es el parámetro más usado para estimar la presencia de materia orgánica en el agua. Su determinación implica medir la variación del oxígeno disuelto en el agua a través del tiempo debido a las reacciones bioquímicas involucradas en el metabolismo microbiano de la materia orgánica. La DBO del agua residual da una idea de la biodegradabilidad de la materia orgánica, además sirve para calcular la cantidad de oxígeno necesario para la estabilización de la materia orgánica mediante tratamiento biológico. Los datos de DBO se emplean para medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento de aguas, y en general, la DBO es un índice importante de la calidad de los cuerpos de agua (Jaureguiberry, 2006).

Demanda química de oxígeno

Es otro parámetro que permite medir indirectamente el contenido de materia orgánica. La DQO es la cantidad de oxígeno consumida por las materias existentes en el agua, oxidables en unas condiciones determinadas. Es la medida del material oxidable, cualquiera sea su origen, biodegradable y no biodegradable (Fernández, 2013). El procedimiento se fundamenta en la oxidación de la materia orgánica mediante un oxidante químico fuerte como por ejemplo el dicromato de potasio en medio ácido a alta temperatura y en presencia de sulfato de plata como catalizador.

Alcalinidad

La alcalinidad es un parámetro que determina la capacidad de un agua para neutralizar los efectos ácidos que sobre ella actúen. Los constituyentes principales de la alcalinidad son los bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}), e hidróxidos (OH^-). La alcalinidad proviene de los minerales que se encuentran en forma de carbonatos y bicarbonatos (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , por ejemplo), que disuelve el agua en su contacto con las capas de estratos, y también por la acción del CO_2 atmosférico al disolverse en el agua. (Facultad de Ciencias Químicas Universidad Autónoma de Chihuahua, 2009)

Potencial de hidrógeno (pH)

Es la medida de la acidez o alcalinidad de una sustancia. El pH es una variable importante en el manejo de la calidad del agua, pues influye en los procesos tanto químicos y biológicos (Toro, 2011).

Dureza

La dureza representa la concentración de cationes metálicos multivalentes presentes en el agua. Es causada principalmente por las sales de Ca y Mg, y en menor grado por Al, Fe, Mn, Sr, y Zn. Por la variedad de compuesto que intervienen, la dureza se expresa como una cantidad equivalente de CaCO_3 (Comisión Nacional del Agua, 2007).

2.2.3. Impacto de los efluentes textiles alcalinos

La Unidad de Asistencia Técnica Ambiental para la pequeña y mediana industria de Colombia (2004) señalan en su Guía Ambiental que los impactos ambientales que

principalmente afectan el componente hídrico están relacionados con las etapas del proceso que involucran operaciones de teñido tanto de hilo, como de tela y prendas, y las de acabado de estos últimos, dado que comprenden actividades que requieren grandes cantidades de agua para brindar las condiciones y el medio adecuado para favorecer la acción de los insumos utilizados. Esta misma razón ocasiona la generación de vertimientos con cargas contaminantes, entre los que se destaca la presencia de fenoles, tensoactivos, color, algunos metales, carga orgánica medida como DBO5 y temperaturas superiores a los 30° C. Estas crecientes fuentes de contaminación hacen que en algunas zonas los recursos hídricos naturales estén cada vez más comprometidos como consecuencia del progresivo deterioro de su calidad.

Jaureguiberry (2006) señala que contaminación hídrica es la acción de incorporar en los cuerpos de agua sustancias sólidas líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas de modo que alteren desfavorablemente sus condiciones naturales, afectando la salud, la seguridad, el bienestar público, su empleo doméstico, industrial, agrícola, recreativo u otros usos.

En lo relacionado con el componente suelo y considerando para ello la generación de residuos sólidos se encuentra un nivel de impacto ambiental negativo medio, principalmente relacionado con los lodos generados. En ese caso se tiene que, en los procesos de hilandería y tejeduría, esencialmente se generan residuos cuyas características no representan riesgos inherentes, dado que se trata de restos de fibras textiles, empaques y otros materiales que no requieren un manejo especial y son fáciles de reutilizar. En las etapas de acabado de prendas y telas, se generan gran variedad de residuos y demandan especial atención los lodos provenientes de las aguas residuales, así como materiales peligrosos generados en actividades de

mantenimiento y manipulación de insumos químicos del proceso (Unidad de Asistencia Técnica Ambiental para la pequeña y mediana industria, 2004).

2.2.4. Métodos de tratamiento de efluentes textiles alcalinos

2.2.4.1. Tratamientos físico químicos

Los procesos físico-químicos comúnmente empleados a nivel industrial en el tratamiento de efluentes de la industria textil son la coagulación y precipitación, ósmosis inversa y ultrafiltración; así como el tratamiento por electrólisis, tratamiento con ozono, tratamiento por adsorción y tratamiento con cloro (Tchobanoglous, Burton, y Stensel, 2002).

Coagulación-floculación

La coagulación tiene por objeto desestabilizar las partículas en suspensión es decir facilitar su aglomeración. En la práctica este procedimiento es caracterizado por la inyección y dispersión rápida de productos químicos. La floculación tiene por objetivo favorecer con la ayuda de la mezcla lenta el contacto entre las partículas desestabilizadas. Estas partículas se aglutinan para formar un flóculo que pueda ser fácilmente eliminado por los procedimientos de sedimentación y filtración (Andía, 2000).

Ósmosis inversa y ultrafiltración

Es un proceso en el que el agua se separa de las sales disueltas en solución, filtrándola a través de una membrana semipermeable a una presión mayor que la osmótica causada por las sales disueltas en el agua residual. Mediante este proceso se obtienen eficiencias de eliminación

de 95-100% y es eficiente en el tratamiento de colorantes básicos, ácidos, directos, dispersos y reactivos (Mozia, Tomaszewska, y Morawski, 2005).

Tratamiento con ozono

Scherezada Piña (2007) señala que el ozono es un oxidante más potente que el cloro. Es eficaz en la oxidación de colorantes básicos, ácidos y directos. Produce efluentes sin color, pero la materia orgánica alcanza una remoción del 5-20% de DQO en aguas residuales textiles contaminadas con colorantes reactivos.

Tratamiento con cloro

Es uno de los métodos más utilizados para la eliminación de color por oxidación, además de que es eficiente para la degradación de colorantes solubles. La oxidación con cloro produce una coloración amarillenta o naranja, es aplicable para colorantes dispersos. Se han obtenido eficiencias de eliminación del 90% (Piña, 2007).

2.2.5. Etapas de tratamiento

2.2.5.1. Tratamiento preliminar

Fundamentalmente, el pretratamiento o tratamiento preliminar consiste en eliminar materias gruesas, tales como arenas, basuras y otros residuos de los efluentes textiles que puedan dañar o interferir el adecuado funcionamiento de los procesos posteriores, o dañar el equipo de bombeo. Dentro de las operaciones unitarias propuestas por Scherezade Piña (2007) para el pretratamiento son: triturado, cribado, desarenadores, filtrado, entre otros.

Filtración

Un proceso de filtrado requiere varias secciones con características bien definidas para garantizar la separación de las partículas suspendidas en el líquido para el que está diseñado. Una sección interior, en la cual el diámetro del poro es constante, permite un proceso de filtración continuo (Medina y Miranda, 2007).

2.2.5.2. Tratamiento primario

Es elemental que para el tratamiento de las aguas residuales se logren las condiciones adecuadas para el tratamiento secundario, de modo que los costos de operación de las plantas de tratamiento disminuyan considerablemente.

Neutralización

La neutralización del pH de ácidos o bases tiene una gran importancia industrial. El objetivo del proceso es cambiar el pH del flujo entrante mediante la adición de un reactivo (variable manipulada) para obtener un determinado pH en el flujo de salida (Faanes y Skogestad, 2003).

Agentes neutralizadores

Ácido sulfúrico

Reactivo más empleado en la industria para la neutralización de efluentes alcalino, dado que tiene un costo competitivo frente a otros agentes de neutralización, además que es de fácil manipulación (Moniz, 1986). En referencia a su comportamiento químico, es necesario

mencionar que es de carácter corrosivo a bajas concentraciones. Sin embargo, puede ser almacenado en tanques de acero cuando se presenta a altas concentraciones.

Ácido clorhídrico

Reactivo neutralizador de efluentes alcalinos menos empleado que el anterior debido a su mayor costo. Adicionalmente, es de carácter corrosivo a cualquier concentración y puede llegar a formar gases tóxicos en las reacciones donde tiene intervención.

Ácido acético

Llamado sistemáticamente como ácido etanoico, es un ácido débil ampliamente empleado en las actividades textiles de neutralizado, jabonado y enjuague. Además, es empleado como agente neutralizador de efluentes alcalinos por ser de fácil manipulación, baja corrosividad y baja formación de lodos; sin embargo, suele ser más costoso que el ácido sulfúrico y clorhídrico.

Otra ventaja que presenta el ácido acético es que al ser débil, es de fácil control al momento de aplicar, por lo que los riesgos de sobre acidificación son menores.

Gases de chimenea

Gabriela Duque (2014) define a los gases de combustión como gases producidos como resultado de la combustión de gasolina, petróleo, diésel o carbón. Se descarga a la atmósfera a través de una tubería o chimenea.

Aunque gran parte de los gases de combustión está compuesto por el relativamente inofensivo dióxido de carbono, también contiene sustancias nocivas o tóxicas como el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y aerosoles.

La inyección de gas de combustión en vertidos alcalinos es un método relativamente nuevo y económico para neutralizarlos. Los gases producto de una buena combustión contienen aproximadamente el 14% de CO₂, este gas disuelto en el agua residual formara ácido carbónico (un ácido débil) que, a su vez, reacciona con las aguas básicas para neutralizar el exceso de alcalinidad

2.2.5.3. Tratamiento secundario

Coagulación

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos. (Andía, 2000)

Los componentes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando.

Yolanda Andía (2000) presenta en su curso organizado por SEDAPAL los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son: Sulfato de Aluminio, Aluminato de Sodio, Cloruro de Aluminio, Cloruro Férrico, Sulfato Férrico, Sulfato Ferroso, Polielectrolitos (Como ayudantes de floculación). Siendo los más utilizados las sales de Aluminio y de Hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados.

Floculación

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar (Andía, 2000).

2.3. Criterios ambientales

Los principales criterios ambientales considerados por la empresa son pH, temperatura, sólidos sedimentables, aceites y grasas, DBO y DQO en relación al agua, cuyos valores máximos se ven descritos en la Tabla 1.

Tabla 1:

Valores Máximos Admisibles

Parámetro	Valor Máximo Admisible	Descripción
pH	6-9	-
Temperatura	35	°C

Sólidos Sedimentables	8.5	mL/L/hora
Sólidos Suspendidos Totales	500	mg/L
Aceites y Grasas	100	mg/L
DBO	500	mg/L
DQO	1000	mg/L

Fuente: D.S. N° 021-2009-VIVIENDA

2.4. Marco de Referencia Conceptual.

- Ley N° 28611 — Ley General del Ambiente
- Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA
- Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera, Decreto Supremo 019-97-ITINCI.
- D.S. N° 003-2008 MINAM - Aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aire.
- D.S. N° 002-2008 MINAM - Aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.
- Protocolos de Monitoreo de Efluentes Líquidos y Emisiones Atmosféricas - Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI-DM.
- Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.
- Decreto Supremo N° 009-2003-SA, Reglamento de los Niveles de Estados de Alerta Nacionales para Contaminantes del Aire.
- Decreto Supremo N° 086-2003-PCM, Estrategia Nacional sobre Cambio Climático.

- Decreto Supremo N° 008-2005-PCM, Reglamento de la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales, Ley N° 26821.

CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

3.1. Aspectos metodológicos de la Investigación

3.1.1. Diseño de Investigación

La investigación desarrollada se encuentra respaldada por la bibliografía obtenida en libros y artículos publicados, información de expertos y declaraciones de empresas internacionales que de una u otra forma aplican tecnologías similares en sus procesos de tratamiento de efluentes alcalinos.

La investigación inició con el levantamiento de información y la adquisición de conocimientos relacionados al proceso de tratamiento de efluentes textiles. Se realizaron muestreos del efluente a tratar en diferentes puntos del sistema; los ensayos más complejos y que requerían equipos especializados fueron realizados en laboratorios acreditados; de esta forma, se conocieron las características iniciales del efluente, se identificaron los puntos críticos del proceso, así como también los requerimientos técnicos para la mejora del sistema.

Se realizaron experimentos manipulando las principales variables involucradas en el tratamiento del efluente y se identificaron los valores óptimos. Seguidamente, se realizó el diseño del sistema mejorado que contempla los procesos de filtración-neutralización-

decoloración, además de su posterior validación considerando criterios y normas medioambientales.

Se construyeron e implementaron las unidades de filtrado, neutralizado y tratamiento físico-químico, las cuales fueron posteriormente integradas. Seguido a ello, se puso en marcha el sistema y se realizaron pruebas de validación para cada unidad construida y del sistema integrado.

Se evaluó el desempeño del sistema, iniciando con el diseño del protocolo de pruebas para evaluar la calidad del agua de tñido tratada considerando los siguientes parámetros ambientales: temperatura, pH, DBO, DQO y sólidos suspendidos. Adicionalmente, se realizaron pruebas para la validación y estandarización del proceso de tratamiento de efluentes alcalinos.

Posteriormente, se realizó el análisis de la calidad de la tela tñida con los efluentes tratados y un estudio de la reducción de costos y emisión de aspectos ambientales. Por último, se analizaron, interpretaron y presentaron los resultados obtenidos.

3.1.2. Tipo de Investigación

El presente trabajo desarrolla el tipo de investigación experimental puesto que se manipulan las variables de forma intencionada con la finalidad de identificar los valores óptimos para la elaboración de la propuesta de mejora. La investigación es cuantitativa considerando el nivel de medición y análisis de información. La investigación es además aplicada pues busca la generación de conocimiento que puede ser empleado en las actividades de tratamiento de efluentes en la empresa Franky y Ricky, así como también en otras empresas del sector textil.

3.1.3. Métodos de Investigación

La investigación aplica el método empírico de medición pues recoge, mide y analiza la información del efluente y del sistema de tratamiento. Los valores de calidad de los efluentes son luego comparados con los estándares ambientales y la normativa vigente.

La investigación además aplica el método empírico de experimentación pues se manipulan y modifican las condiciones requeridas para el tratamiento de efluentes alcalinos, obteniéndose los valores óptimos que posteriormente son empleados en la elaboración de la propuesta de mejora del sistema.

3.1.4. Técnicas de investigación

3.1.4.1. Recolección de datos

Se realizaron muestreos en diferentes puntos del sistema en diferentes horarios para conocer la calidad del efluente después de cada proceso. Se realizaron mediciones en campo para identificar la temperatura y pH del efluente.

Para la determinación de la DBO, DQO, sólidos suspendidos y el grado de decoloración se aplicaron los métodos normalizados dados por la APHA. Por otro lado, un laboratorio externo monitoreó y analizó la calidad de los gases de chimenea durante una semana.

Para identificar las dosis de coagulante-floculante a aplicar en el sistema, se realizó un diseño experimental factorial aleatorizado considerando como variable adicional la carga de colorante presente en las muestras del efluente.

3.1.4.2. Análisis de datos

Para el análisis de los datos recolectados se utilizaron los software R Statistics y STATISTICA; en este último, se realizó una comparación múltiple de Tukey. Adicionalmente, se emplearon matrices comparativas, tablas y gráficos de dispersión en Microsoft Excel 2013.

3.1.5. Instrumentos de investigación

El principal instrumento empleado para la recolección de información in situ fue el pHmetro marca HANNA, el cual sirvió para medir el pH y la temperatura en cada uno de los puntos relevantes del sistema de tratamiento.

Los instrumentos empleados en laboratorio para medir la absorbancia de las muestras, y así determinar el grado de decoloración del efluente, fueron el espectrofotómetro modelo SQ-2800 marca UNICO; y como instrumentos auxiliares el agitador magnético modelo M 6.1 marca CAT y la centrífuga digital BOECO modelo XC-2000. Para la determinación de la DBO y DQO se utilizó la incubadora MEMMERT IF 110 y se aplicaron los métodos APHA.

3.1.6. Plan Muestral

a. Población Objetivo

La población objetivo de la investigación son los efluentes alcalinos provenientes de las actividades de teñido textil de la empresa Franky y Ricky.

b. Determinación de la muestra

En la investigación se aplicó el muestreo probabilístico aleatorio estratificado puesto que se recolectaron muestras de efluentes provenientes de diferentes puntos del sistema de tratamiento. Cada grupo de muestras posee diferentes características debido a que son recogidos al final de cada proceso que conforma el sistema. La cantidad a tomar por muestra es de 500 ml, volumen que permite realizar los ensayos necesarios para la caracterización del efluente.

Es importante tener en cuenta que debido a que se emplean colorantes tanto claros como oscuros para el teñido de las telas de algodón, se dificultara la obtención de muestras uniformes. Además, esta limitación es difícilmente mitigable puesto que no existe planificación detallada de los colorantes que emplearán en el proceso de producción ya que la empresa trabaja en función a pedidos y estos son altamente variables en la actualidad.

c. Procedimientos de muestreo

Se procedió a recolectar muestras en diferentes puntos del sistema de tratamiento de efluentes cada 2 horas en un intervalo de 8:00 a.m. a 4:00 p.m. por dos semanas para la caracterización del efluente del sistema actual. Una vez aplicadas las mejoras al sistema, se empleó la misma metodología por dos semanas adicionales para caracterizar el efluente tratado y validar el sistema mejorado. Los puntos y procedimientos de muestreo están descritos en la sección 7.1. Desarrollo de pruebas.

3.2. Aspectos metodológicos para la propuesta de mejora

3.2.1. Métodos de ingeniería a aplicarse

Los métodos aplicados en la presente investigación son de gestión y control de la calidad debido a la importancia de tener procesos controlados que permitan alcanzar la calidad esperada del efluente tratado y así asegurar también la calidad de las prendas teñidas con este basándose en normas y estándares internacionales. Además, la investigación propone la mejora de procesos como pilar fundamental para la consecución de los objetivos estratégicos de la organización.

Otro método empleado en la investigación es de procesos industriales ya que es requerido sistematizar los procesos con la finalidad obtener efluente decolorado con características específicas mediante la adición de agentes químicos (neutralizante, coagulante-floculante) y acciones físicas (filtración, agitación, sedimentación); para ello se requirió realizar balance de materia, optimizando así las dosis de dichos agentes.

Se realizó un análisis económico para determinar la viabilidad del proyecto, así como también los beneficios obtenidos a través del mejoramiento de los procesos.

Debido a la naturaleza de la investigación y que esta surge a partir de un proyecto realizado en conjunto entre la empresa Franky y Ricky y la Universidad Católica San Pablo con financiamiento del Estado Peruano, es que se aplicaron también métodos de gestión y control de proyectos.

3.2.2. Técnicas y herramientas de ingeniería a aplicarse

En la investigación se emplearon las siguientes técnicas y herramientas:

- Matriz de evaluación y control
- 8D'S

- Balance de materia
- Diagrama de flujo
- Diagrama de correlación
- Estudio de costos
- Flujo de caja
- Diagrama de Gantt
- Protocolo de pruebas

CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1. Plan estratégico (Políticas, Objetivos, Estrategias de la Organización).

- Cumplir con la legislación ambiental correspondiente a desagües industriales y contaminación del aire.
- Tratar el 100% de los efluentes alcalinos mediante el sistema propuesto.
- Reutilizar al menos el 70% de los efluentes alcalinos tratados.
- Reducir costos operativos para el tratamiento de efluentes.

4.2. Cumplimiento de los objetivos estratégicos.

- La empresa cumple con la legislación ambiental en el Perú correspondiente a desagües industriales y contaminación del aire; sin embargo, busca reducirse aún más el impacto generado al medio ambiente por las operaciones de producción.
- La empresa trata el 100% de sus efluentes con el sistema actual antes de disponerlos en la red de alcantarillado municipal.

- La empresa no reutiliza sus efluentes alcalinos tratados ya que estos no son aptos en la actualidad

4.3. Evaluación de los procesos involucrados.

Como procesos involucrados tenemos inicialmente el de teñido textil, en el cual agua del subsuelo es previamente tratada para su ablandamiento y posterior uso en tintorería, en donde la tela es teñida a una temperatura de 65°C y donde además entra en contacto con los diferentes colorantes y aditivos requeridos para la obtención de tela teñida de calidad.

El agua alcanza los 65°C como resultado de un sistema de intercambiadores de calor que emplea vapor saturado a una presión de 110 psi para la transferencia de calor; este vapor proviene del área de calderas, lugar donde se realiza la combustión de GLP y cuyos gases son emitidos al medio ambiente. El efluente sale del sistema a la temperatura 61.26°C en promedio, reduciéndose a 33.76°C aproximadamente al final del tratamiento actual debido a que el efluente se encuentra retenido en la planta de tratamiento durante un tiempo prolongado y expuesto a temperatura ambiente. Se evidenció que no se exceden los 35°C estipulados por el D.S. 021-2009-VIVIENDA. Como se mencionó anteriormente, la temperatura es muy relevante pues afecta a la fauna y flora acuática, la velocidad de reacción bioquímica y la transferencia de gases.

El efluente proveniente del sistema de teñido textil se encuentra coloreado y además con un elevado nivel de SST, siendo este de 1674 mg/L aproximadamente, el cual es muy superior a los 500 mg/L establecidos según D.S. 021-2009-VIVIENDA. Por ello, estos sólidos son retenidos mediante un proceso de filtrado que emplea un filtro Y de 3.8 mm de diámetro, y que reduce a 354 mg/L el nivel de SST en el efluente y que llega a 138 mg/L posterior a la etapa de sedimentación, cumpliendo con la normativa vigente, pero que aún es muy elevado para que el efluente pueda ser tratado eficientemente en futuros procesos de decoloración.

Adicionalmente, el efluente posee en promedio un pH de 10.73, muy superior a los 9 que establece como límite superior el D.S. 021-2009-VIVIENDA; cabe recalcar que se requiere un pH próximo al neutro porque si no, se presenciarán inconvenientes en procesos secundarios o terciarios de tratamiento, así como también en el de teñido textil al momento de reutilizar el efluente pues se reduce la velocidad de reacción, así como la eficiencia de la fijación del tinte sobre las telas.

Como tratamiento primario y final se aprecia la neutralización del efluente pasando de un pH inicial de 10.73 a 8.15 mediante el empleo de ácido acético, evidenciándose un alto costo para la neutralización y una eficiencia reducida, pues al ser este el último proceso de tratamiento, solo se cumple con los LMP y no siendo posible reaprovechar el efluente, puesto que el mismo aún se encuentra altamente coloreado, con un elevado nivel de SST y con un pH ligeramente superior al deseable, lo cual conlleva un elevado costo de oportunidad.

La Figura 2 describe el sistema de tratamiento de efluentes actual considerando los procesos de tratamiento preliminar (filtrado) y tratamiento primario (neutralización), así como también los procesos de teñido que emiten los efluentes alcalinos, y los de combustión, que emiten los gases de chimenea.

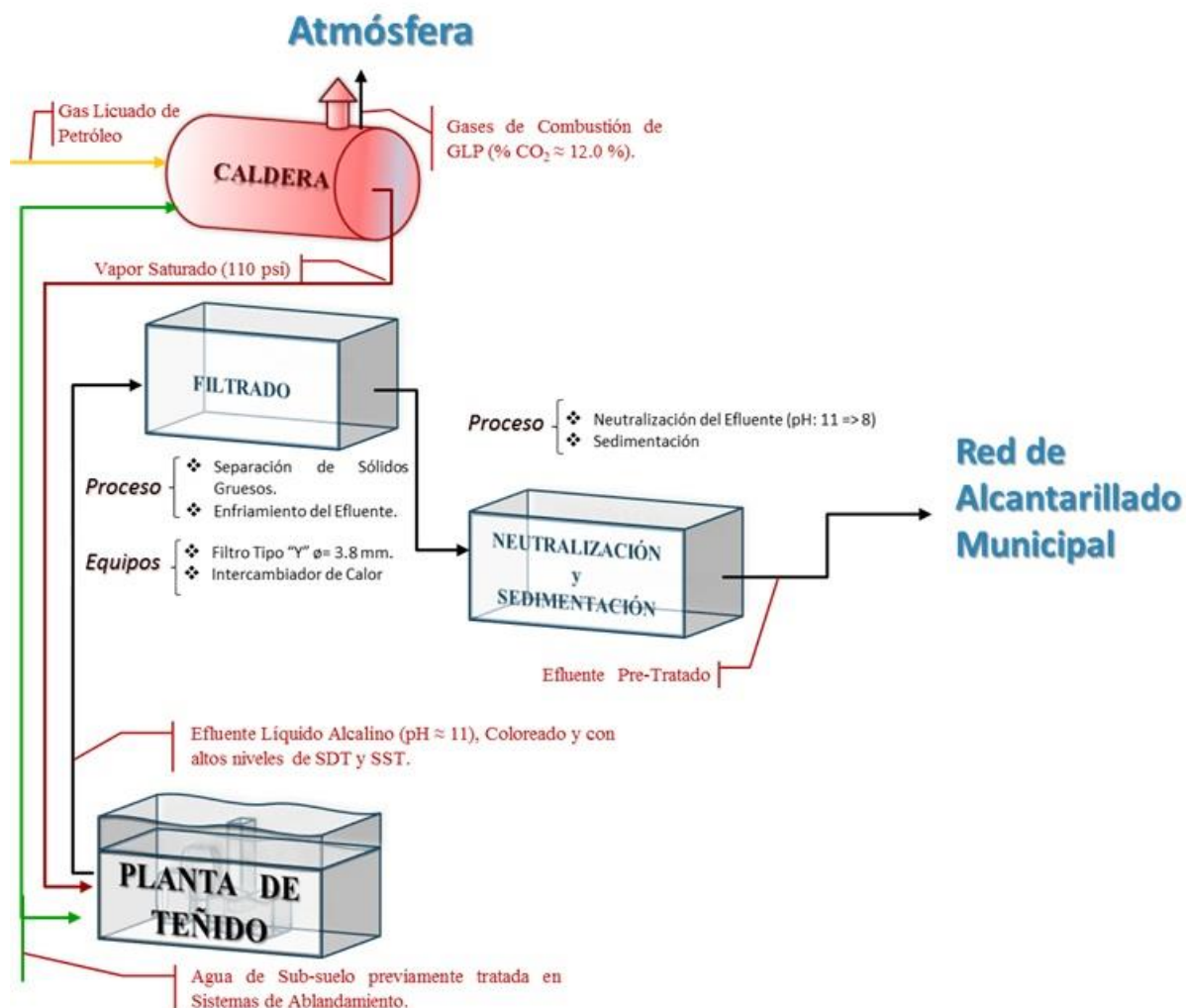


Figura 2. Sistema de tratamiento de efluentes actual

Fuente: Franky y Ricky S.A.

4.4. Identificación de los puntos de mejora.

Considerando el tratamiento actualmente realizado, y analizando cada etapa desde la división de tratamiento preliminar, primario y secundario, se identificaron puntos de mejora por etapa.

Una vez analizada la etapa de tratamiento preliminar del efluente, se observa que existe una clara posibilidad de mejora, puesto que en esta etapa se realiza el proceso de filtrado de sólidos, el cual no consigue retenerlos en su totalidad debido a su diámetro y al tamaño de los poros de la malla empleada. Resulta indispensable incrementar la retención de sólidos en esta etapa para que de este modo, además de proteger el sistema de tuberías y equipos, la dosis a aplicar de coagulante en la etapa de decoloración sea considerablemente inferior, lo que se traduce en un importante ahorro económico.

Seguido a ello, se identificó un punto de mejora importante en el proceso de neutralización del efluente. El empleo de ácido acético para la neutralización de las aguas residuales además de ser costoso, solo permite alcanzar un pH de 8 a fin de que pueda ser dispuesto en la red de alcantarillado municipal, sin llegar a ser reaprovechado. De aplicarse mayor cantidad de ácido acético, se corre el riesgo de sobre acidificación del efluente. Por lo tanto, el punto de mejora está referido a la aplicación de un método alternativo de neutralización que emplee un agente neutralizante más eficiente, que abarate costos, sea de fácil dosificación y control, y que signifique un paso importante para el reaprovechamiento del efluente.

Se identificó que los efluentes alcalinos provenientes del proceso de teñido textil no son los únicos aspectos ambientales que generan un impacto al medio ambiente, sino que también los gases de chimenea por la combustión de GLP lo ocasionan. Por ello, debe buscarse minimizar los daños tanto al aire como al agua y suelos mediante técnicas de reaprovechamiento de los mismos.

Finalmente, se evidenció que no existe un tratamiento secundario ni terciario que permita que el efluente tratado pueda ser reingresado al sistema y reaprovechado en las actividades de teñido textil, por lo que debe diseñarse actividades complementarias a las de filtrado y

neutralización para hacer esto posible. Es indispensable considerar que estos tratamientos deben favorecer a la decoloración del efluente sin incrementar su pH, DBO ni DQO, y mucho menos generar otro tipo de aspectos ambientales que puedan tener un efecto negativo sobre el medio ambiente.

CAPÍTULO V: PROPUESTA DE MEJORA

5.1. Recopilación de Datos del Problema.

Con respecto a la productividad, es una realidad que la empresa tiene una recuperación de aguas residuales de 0, ya que estas no se tratan de forma en que puedan ser reutilizadas, simplemente se cumplen los LMP. Además, se calcula que se desperdicia 100 litros de agua por kilogramo de tela.

En la dimensión ambiental, como se mencionó anteriormente, se emplean 100 litros de agua por kilogramo de tela, lo que genera por lo tanto 100 litros de efluentes alcalinos que generan daños a los recursos hídricos. Sobre la contaminación del aire, es importante mencionar que tanto los gases desprendidos de los químicos utilizados en el proceso como gases de chimenea no son nocivos, sin embargo, esto últimos pueden ser reaprovechados, minimizando el impacto ambiental y generando ahorros para la empresa.

El agua tratada se desecha al alcantarillado para que posteriormente sea tratada por SEDAPAR, por lo que no hay contaminación directa del suelo. Sin embargo, si el agua tratada fuera desechada en el campo, existirían efectos negativos debido al DQO, DBO, Cromo, Plomo y pH.

En el aspecto económico, se cuantificó los costos actuales por tratamientos de efluentes, ascendiendo estos a \$ 0.21 por m³ de efluente tratado, además que el costo de oportunidad es elevado debido a que el tratamiento actual no permite el reaprovechamiento del efluente.

5.2. Análisis Causa Efecto.

La primera causa directa al problema anteriormente identificado es el desconocimiento de métodos alternativos que permitan alcanzar mejores resultados de decoloración. La segunda causa directa es la aplicación de insumos convencionales de alto costo y reducida eficacia. Finalmente, como tercera causa principal, es el desinterés por parte de las empresas de la Región Arequipa por el medio ambiente, limitándose a cumplir únicamente con los estándares ambientales que exige la normativa peruana.

Como primer efecto directo se evidencia un elevado costo de oportunidad por el desaprovechamiento del recurso hídrico tratado, pues no posee las características físico-químicas para su reutilización. El segundo efecto directo es el impacto ambiental debido al efluente alcalino que es vertido en las redes de alcantarillado municipal, además de los gases de chimenea que son expulsados al ambiente.

5.3. Planteamiento de mejoras.

El presente estudio propone mejorar el sistema actual de tratamiento de efluentes alcalinos, con la finalidad de que éstos puedan ser reaprovechados posteriormente. Por ello, se plantean diversas mejoras en los siguientes puntos identificados.

Primero, para la etapa de filtrado continuo se propone el uso de un filtro Y adicional con menor diámetro de poro en la malla para que de esta forma, los SDT y SST sean retenidos casi

en su totalidad y así se permita una mayor eficiencia en las siguientes etapas de tratamiento, además de evitar daños al sistema de bombeo y tuberías.

La segunda propuesta consiste en emplear otro agente neutralizante, descartando así el ácido acético y reemplazándolo por gases de chimenea (CO_2). Este último requiere el aprovechamiento de los gases de combustión de GLP originados en el área de calderas, por lo que su captación y transferencia al proceso de neutralización, aparece como una opción de mejora.

Adicionalmente, se debe implementar una etapa de tratamiento secundario, el cual comprenda los procesos de coagulación – floculación y sedimentación para que de esta forma se alcance la decoloración del efluente.

5.4. Diseño del sistema

5.4.1. Diseño de la unidad de filtrado continuo

La principal razón de la implementación de una unidad de filtrado continuo radica en la necesidad de retener la materia suspendida de mayor tamaño (arena, pelusas, entre otras) presente en el efluente y así proteger a todos los equipos del sistema, tales como bombas, tuberías, válvulas, y otros; además, a menor cantidad de materia suspendida, menor será también la dosis a aplicar de coagulante en procesos posteriores. Por ello, para el diseño esta unidad y la elección del filtro a emplear se consideraron aspectos tales como material del filtro, máxima presión de trabajo, temperatura máxima y mínima, diámetro de los poros de la malla.

El filtro a escogerse debe ser de material inoxidable debido a la característica alcalina del efluente. Adicionalmente, debe soportar presión de trabajo de hasta 110 psi (presión previa al filtro) y evitar que esta caiga más allá de un 30%. Como el efluente proveniente del área de

teñido se encuentra a una temperatura aproximada de 62°C, el filtro debe ser capaz trabajar a temperaturas superiores y así garantizar su durabilidad. El diámetro de los poros de la malla de filtrado debe situarse en un rango entre 1 y 2 mm para que de esta forma pueda retenerse la mayor cantidad posible de sólidos suspendidos en un proceso rápido con una mínima caída de presión.

Debido a las consideraciones anteriormente mencionadas es que se optó por un filtro Y, puesto que el material con el que está construido es fierro con pintura epóxica interior y exterior. Además, soporta temperaturas de hasta 65°C a una presión de 200 psi y de hasta 232°C a una presión de 125 psi. El diseño “Y” del filtro otorga una mínima caída de presión, obteniéndose un paso efectivo del fluido. Los poros sellan perfectamente en el cuerpo del filtro evitando que se deforme y permita pasar alguna otra partícula.

Una de las características que permitieron optar por el filtro “Y” es que es normalmente empleado en plantas de mediana capacidad y que brinda facilidad de mantenimiento y cambio de malla de filtrado.

Considerando que el sistema de tratamiento actual cuenta con un filtro “Y” cuya malla tiene poros de 3.8 mm de diámetro para la retención de sólidos mayores, es que se implementará uno adicional en línea y cuya malla posea poros de 1.2 mm de diámetro (medida estándar del fabricante) lo que permitirá retener casi la totalidad de los sólidos suspendidos en el efluente. Cabe mencionar que el sistema de filtrado continuo no contempla la retención de los sólidos disueltos, los cuales serán posteriormente removidos mediante procesos de coagulación, floculación y sedimentación.

5.4.2. Diseño de la unidad de neutralización

Para el diseño de la unidad de neutralización se debe considerar principalmente la dosis de CO₂ a aplicar para la reducción de la basicidad del efluente a tratar. Para ello, se debe conocer la composición de los gases de chimenea producidos en el área de calderas, el porcentaje de CO₂ contenido, el flujo volumétrico de los gases, la cantidad de efluente a tratar, el pH inicial y el pH objetivo, temperatura del efluente y tiempo de reacción. Adicionalmente, se debe escoger el equipo de inyección de CO₂.

Para conocer la composición de los gases de combustión, la cantidad de CO₂ contenido y el flujo volumétrico, se contrataron los servicios de la empresa BhiosLab para el monitoreo y evaluación de dichos compuestos. La Tabla 2 y la Tabla 3 muestran los datos promedios obtenidos resultantes del estudio realizado por la empresa.

Tabla 2:

Parámetros de los gases de chimenea

Contaminantes	Fecha	Promedio			Promedio aritmético	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)	Límite máximo permisible
	Hora	08:00	08:45	09:30				
Flujo volumétrico	m ³ /h	16863	14744	14833	15479.99	978.73	6.32	----
Partículas (ap42)	mg/Nm ³	3.17	3.54	3.53	3.41	0.17	5.04	100**
Velocidad	m/s	19.10	16.70	16.80	17.53	1.11	6.32	----
Tiempo de emisión	h/d	16	16	16	16.00	-	-	-----
Flujo másico	Kg/h	0.64	0.91	0.91	0.82	0.13	15.29	-----
Monóxido de carbono	mg/Nm ³	0.00	1.25	0.00	0.42	0.59	141.42	1445*
Óxidos de nitrógeno	mg/Nm ³	85.60	134.9	133.6	118.07	22.97	19.45	460**
Dióxido de azufre	mg/Nm ³	0.00	0.00	2.86	0.95	1.35	141.4	2000**

Fuente: BhiosLab

Tabla 3:

Parámetros complementarios de los gases de chimenea

Parámetros	Fecha	26/03/2015			Promedio aritmético	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)	Límite máximo permisible
		08:11	08:52	09:18				
Oxígeno	% O ₂	2.43	2.39	2.52	2.45	0.05	2.22	-----
Temperatura de gases	°C	198.0	186.9	188.0	190.97	4.99	2.61	----
Temperatura ambiente	°C	20.90	27.10	29.10	25.70	3.49	13.58	----
Dióxido de carbono	%	12.12	12.14	12.06	12.11	0.03	0.28	-----
Exceso de aire	%	11.57	11.38	12.00	11.65	0.26	2.22	----
Efic. de combustión	%	92.70	93.40	93.40	93.17	0.33	0.35	-----

Fuente: BhiosLab

(*) Decreto N° 833/1975 (España)

(**) IFC/BM Corporación de Finanzas Internacional del Banco Mundial. General

Environmental Guidelines (01-07-98)

La curva de neutralización (Figura 3) de un ácido mineral en comparación con el ácido carbónico muestra que, en el momento en que se añade, incluso en el rango cercano al punto neutro solo se tiene un ligero efecto en el valor de pH, y que prácticamente excluye la sobre acidificación (Duque, 2014).

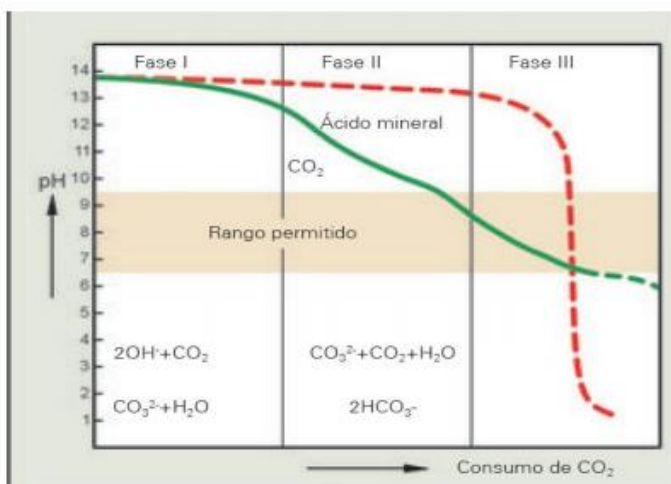


Figura 3. Curva de neutralización

La cantidad del efluente a tratar en la planta es de 150 m³ por día con un pH inicial que varía entre 10 y 11 según la carga de colorante presente, y el pH objetivo es 8 aproximadamente, puesto que bajo esta condición, el coagulante a emplear en procesos posteriores trabaja con mayor eficiencia. La temperatura del efluente fluctúa entre 50 y 55°C a la llegada del pozo de neutralización.

En la tabla 4 se observa la dosis estequiométrica de CO_2 y demás neutralizantes por metro cúbico de efluente. La dosis a aplicar en el caso de CO_2 tiene una distribución logarítmica, por lo que como se mencionó anteriormente, a altos niveles de pH, el CO_2 reduce drásticamente la alcalinidad del efluente; sin embargo, a medida que el pH es menor, la cantidad de CO_2 a suministrar debe incrementarse largamente.

Tabla 4:

Cantidad requerida para neutralizar soda cáustica a pH 8.5

pH	NaOH [kg/m ³]	CO ₂ [kg/m ³]	HCL [kg/m ³]	H ₂ SO ₄ [kg/m ³]	HNO ₃ [kg/m ³]
10.0	0.004	0.004	0.12	0.005	0.01
10.5	0.013	0.014	0.038	0.016	0.031
11.0	0.04	0.044	0.12	0.05	0.1
11.5	0.13	0.14	0.38	0.16	0.31
12.0	0.4	0.44	1.22	0.51	0.97
12.5	1.3	1.39	3.84	1.6	3.1
13.0	4.0	4.4	12.2	5.1	9.7
13.5	12.6	13.9	38.4	16.1	30.7
14.0	40	44	122	51	97

Fuente: Fuchs Neutralization of Wastewater, 2014

Debido a que el cuadro muestra las cantidades estequiométricas para alcanzar 8.5 de pH, y el pH objetivo de la unidad es de 8, se realizará un cálculo para que se ajuste al pH esperado basado en la diferencia de pH entre el inicial y el esperado, siendo esta de 3 puntos.

Puesto que el pH promedio más elevado de los efluentes de la empresa Franky y Ricky se aproxima a 11 en los cuales la carga de colorante sea alta y a 10 en los de baja carga, y siendo estos variables, los cálculos de dosis a suministrar estarán basados en el mayor pH (11).

A nivel teórico, la cantidad de CO₂ a añadir para reducir el punto de acidez de 11 a 8 en un metro cúbico de efluente es de 0.14 kg. Puesto que son 150 m³ el volumen a tratar, se

requerirán 21 kg de CO₂ por día, por consiguiente, 95 m³ de gases de combustión con una concentración de 12% de CO₂.

A nivel práctico se realizaron ensayos de laboratorio por parte del consultor Jaime Cárdenas García. Se obtuvo que para neutralizar 5 mL de efluente con una concentración de NaOH 0.0177N (pH: 11), se empleó 0.0016 g de CaCO₃, es decir que se requirió de 0.0004 L de CO₂.

$$0.0004 \text{ L de CO}_2 * \frac{1.842 \text{ g}}{\text{L}} (\text{densidad}) = 0.0007368 \text{ gr} = 0.7368 \text{ mg de CO}_2$$

$$\frac{0.7368 \text{ mg de CO}_2}{5 \text{ ml de efluente}} = \frac{0.14736 \text{ mg de CO}_2}{1 \text{ ml de efluente}} = 0.14736 \text{ Kg/m}^3$$

Considerando el resultado anterior, para neutralizar 150 m³ de efluente se necesitaría de 12 m³ ó 22.104 Kg de CO₂ al día; por consiguiente, se requieren 100 m³ de gas de chimenea tal como se expresa en las siguientes fórmulas.

$$\frac{0.14736 \text{ Kg de CO}_2}{\text{m}^3} * 150 \text{ m}^3 = 22.104 \text{ Kg de CO}_2$$

$$22.104 \text{ Kg de CO}_2 * \frac{1 \text{ m}^3}{1.842 \text{ Kg}} = 12 \text{ m}^3 \text{ de CO}_2$$

$$12 \text{ m}^3 \text{ de CO}_2 * \frac{1 \text{ m}^3 \text{ de gas de chimenea}}{0.12 \text{ m}^3 \text{ de CO}_2} = 100 \text{ m}^3 \text{ de gas de chimenea}$$

Debido a que la planta opera 16 horas, el suministro de gas de chimenea ha de ser de 6.25 m³ por hora. El gas será inyectado mediante el neutralizador FUCHS CENTROX Aerator modelo CX-G 1.0 pues su eje vertical y diseño de su hélice crean un flujo vertical de aireación

que permite tratar grandes volúmenes de aguas residuales, mientras que el impulsor giratorio atrae las aguas residuales desde abajo, y obtiene aire a través de la tubería de succión del embudo desde arriba, generando así una distribución de las burbujas en forma de abanico. Esto permite además reducir los niveles de DBO y DQO presentes y producir una agitación favorable para el proceso de coagulación.

5.4.3. Diseño de la unidad de decoloración

La unidad de decoloración por acción físico-química comprende los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. Cada proceso requiere diferentes tiempos de retención y fuerza de agitación, por lo que cada uno de los mismos es llevado a cabo en 3 diferentes pozos bajo condiciones específicas. En el ANEXO 1 puede apreciarse el plano de los 3 pozos de tratamiento.

El proceso de coagulación tiene lugar en el pozo empleado para la neutralización del efluente, pues aprovecha la agitación producida por el neutralizador. Como es sabido, un requisito indispensable para una coagulación eficiente es que el coagulante debe ser mezclado y dispersado homogénea y rápidamente en el efluente a tratar. A esto se le denomina mezcla rápida y debe realizarse en aproximadamente 1 minuto, evitándose superar los 2 minutos.

Cabe resaltar que se han realizado pruebas preliminares de laboratorio en la empresa Franky y Ricky en conjunto con el biólogo Giovani Rodolfo Alatriza Góngora en materia de decoloración por coagulación-floculación empleando diferentes agentes tales como: hongos xilófagos, levadura, lodos activados, Perifloc (derivado de poliamina), sulfato de aluminio y almidón; obteniéndose los mejores resultados mediante la utilización de Perifloc, pues actúa como coagulante y floculante.

La prueba de jarras consistió en una mezcla rápida inicial de 1 minuto a 150 rpm de agitación mecánica por paleta, en donde se coloca el coagulante, y posterior a dicho tiempo, se procede a un proceso de formación de coágulos que consecuentemente forman flóculos, lo cual se logra agitando mecánicamente por paleta a una velocidad de 40 rpm por 15 minutos; posterior a esta etapa, se procedió a dejar la muestra reposar por 15 minutos para dejar sedimentar los flóculos formados. Se tomó muestra de la parte superior del envase donde se realiza dicha prueba y se lleva a espectrofotómetro para medir grado de decoloración.

Para el tratamiento de efluentes claros se empleó una concentración de 12 mg de Perifloc por litro de efluente a una temperatura promedio de 21°C consiguiéndose niveles de decoloración de hasta el 82,05 %. De igual forma, para efluentes oscuros, se incrementó la concentración del Perifloc en 50 % llegando a 18 mg/L, sin variar las demás condiciones, obteniéndose niveles de decoloración de hasta el 88.56 %. Además de haberse reducido la turbidez y el color del efluente textil, los niveles de remoción de DQO fueron de hasta 73.25%, ubicándose por debajo de los límites máximos permisibles que exige la normativa vigente.

La calidad del agua obtenida en las pruebas preliminares es suficiente para que el efluente pueda ser reaprovechado en los procesos de tintorería para prendas de color intermedio y oscuro; por lo que la aplicación de Perifloc en la etapa de coagulación-floculación favorecería a la consecución de los objetivos del estudio sin la necesidad de implementar tratamientos terciarios.

El Perifloc rs conc (ANEXO 2), al igual que otros tipos de coagulantes, debe ser catiónico para neutralizar las cargas negativas de los coloides. Esto último se ve altamente relacionado al pH del efluente, puesto que a mayor nivel de pH, más negativa será la carga. Cabe resaltar que en la mayoría de efluentes industriales, a un pH de 6 poseen carga neutra. Sin embargo, para que un coagulante funcione eficientemente debe existir cierta alcalinidad presente

en el medio. Para el caso del coagulante escogido, en un rango de pH entre 7.5 y 9.5, se obtiene la mayor eficiencia; no obstante, este rango varía al emplearse diferentes coagulantes.

La dosis de coagulante a emplear en la planta de tratamiento es calculada a través de los resultados de laboratorio obtenidos mediante la aplicación del ensayo de jarras. Las siguientes fórmulas detallan la cantidad a aplicar de coagulante tanto concentrado como diluido para el caso de los efluentes coloreados con colorantes claros. Cabe destacar que la densidad del Perifloc es de 0.98, por lo que para efectos prácticos se realizará su aproximación a 1, además de que este se encuentra concentrado y debe ser diluido al 10%.

$$\frac{12 \text{ mg de Perifloc}}{1 \text{ L de efluente}} = \frac{12 \text{ ml de Perifloc}}{1 \text{ m}^3 \text{ de efluente}}$$

$$\frac{12 \text{ ml de Perifloc conc.}}{1 \text{ m}^3 \text{ de efluente}} * \frac{10 \text{ m}^3 \text{ de solución}}{1 \text{ m}^3 \text{ de Perifloc conc.}} = \frac{120 \text{ ml de Perifloc al 10\%}}{1 \text{ m}^3 \text{ de efluente}}$$

De la misma forma, para el caso de los efluentes coloreados con colorantes intermedios y oscuros, la dosis a aplicar es la siguiente:

$$\frac{18 \text{ mg de Perifloc}}{1 \text{ L de efluente}} = \frac{18 \text{ g de Perifloc}}{1 \text{ m}^3 \text{ de efluente}}$$

$$\frac{18 \text{ ml de Perifloc conc.}}{1 \text{ m}^3 \text{ de efluente}} * \frac{10 \text{ m}^3 \text{ de solución}}{1 \text{ m}^3 \text{ de Perifloc conc.}} = \frac{180 \text{ ml de Perifloc al 10\%}}{1 \text{ m}^3 \text{ de efluente}}$$

Se estima que del 100% del volumen de los colorantes empleados para teñir las prendas producidas, un 30% son claros, un 35% intermedios y otro 35% oscuros. Es importante considerar la cantidad utilizada de cada tipo de colorante puesto que es directamente

proporcional a la cantidad de efluente a tratar y la dosis de coagulante a emplear. Por lo tanto, se ha de aplicar 120 ml de Perifloc diluido al 10% por m³ en 50 m³ de efluente con colorante claro, y una dosis de 180 ml/m³ en los 100 m³ restantes (intermedio y oscuro).

$$\frac{120 \text{ ml de Perifloc diluido al } 10\%}{1 \text{ m}^3 \text{ de efluente}} * 45 \text{ m}^3 \text{ de efluente} = 5.4 \text{ L de Perifloc al } 10\%$$

$$\frac{180 \text{ ml de Perifloc al } 10\%}{1 \text{ m}^3 \text{ de efluente}} * 105 \text{ m}^3 \text{ de efluente} = 18.9 \text{ L de Perifloc al } 10\%$$

Dichos resultados indican que la cantidad óptima de coagulante a aplicar diariamente es de 6 litros de Perifloc al 10% para 45 m³ de efluentes claros y 18 litros de Perifloc al 10% para 105 m³ de efluentes intermedios y oscuros, significando un total de 24.3 litros de coagulante diluido por día.

El Perifloc diluido deberá ser aplicado de forma constante y homogénea, por lo que se requerirá instalar una bomba dosificadora, lo que garantizará suministrar la cantidad óptima de coagulante de forma automatizada. Por ello, deberá instalarse una bomba dosificadora que tenga una alta resolución de dosificación, suministre un flujo superior al requerido en la planta de tratamiento, y que pueda operar en condiciones de alta humedad o con ambientes mojados, y además soporte temperatura ambiente de hasta 40°C.

Para determinar el flujo mínimo requerido de bombeo, se debe considerar la dosis más alta de coagulante a aplicar para el tratamiento del efluente. En este caso, la dosis es de 180 ml por metro cúbico de efluente del alta carga de colorante, siendo un total de 27 litros por 150 m³

diarios. Debido a que la planta opera 16 horas al día, entonces el flujo máximo de suministro de Perifloc sería 1.688 litros por hora.

Considerando los requerimientos antes mencionados se optó por adquirir una bomba dosificadora marca Walchem y modelo EK B16 R2 PC de alta precisión y resolución, cuyo caudal nominal es de 0 a 3.785 litros por hora, presión máxima de trabajo de 105 PSI, temperatura ambiente máxima de hasta 50°C. La bomba será instalada a orillas del último tramo del pozo de neutralización y configurada permanentemente por el personal de mantenimiento según la coloración del efluente.

El proceso de floculación tendrá lugar en el segundo pozo, el cual estará directamente conectado con el primero (neutralización/coagulación) mediante un sistema de tuberías. La floculación es el proceso posterior al de coagulación; en este las partículas desestabilizadas se aglomeran formando flóculos por acción de colisión entre las mismas; por lo tanto, el tiempo de retención debe ser mayor al del proceso de coagulación para incrementar el número de colisiones entre partículas y la mezcla a su vez ha de ser lenta para evitar el rompimiento de los flóculos formados.

Normalmente para que el proceso de floculación sea efectivo, se debe imprimir energía al efluente para así elevar la probabilidad de colisión; sin embargo, la velocidad no debe exceder los 0.3 m/s. La impresión de energía se consigue a través de movimiento de paletas accionadas por motores y/o la instalación de canaletas que incrementen la velocidad del efluente mientras este se encuentre retenido.

Debido a que la capacidad del segundo pozo es de 51.5 m³ y que el flujo en el sistema, el cual obtiene energía por acción de la gravedad por el desnivel existente entre los pozos, es de 7.14 m³/h, y esto satisface los requerimientos de la empresa, se optó por no instalar bombas,

motores, paletas ni canaletas, haciendo que el tiempo de retención en el pozo sea muy superior al mínimo requerido. Este tiempo excesivo, además de incrementar el número de colisiones entre partículas desestabilizadas, trae como beneficio el calentamiento de las mismas, lo que produce una floculación más eficiente; sin embargo, tiene como desventaja una sedimentación inferior ya que los gases disueltos en el agua son liberados, lo que ocasiona la formación de burbujas que se aglutinan a los flóculos y los hacen flotar. Este potencial problema será mitigado de dos formas en el pozo de sedimentación.

El proceso de sedimentación se llevará a cabo en el tercer pozo denominado de sedimentación, el cual recibe el efluente del pozo anterior a través de un sistema de tuberías de 4" de diámetro, para que de esta forma la velocidad que alcance el efluente sea de 0.245m/s, inferior a 0.3m/s para así evitar la ruptura de los flóculos ya formados.

Se estima que al pozo de sedimentación lleguen pequeños flóculos que se aglutinarán y sedimentarán de forma efectiva; sin embargo, debido a lo antes mencionado, habrá otros flóculos que flotarán, por lo que se requiere adoptar medidas para que sean fácilmente removidos. Por ello, se instalarán en el pozo 3 muros de madera con pequeños orificios distribuidos por toda su área para permitir el paso del efluente y retener los flóculos flotantes formados en los procesos previos y que no sedimentaron; de esta forma, estos flóculos se agruparán y decantarán, y aquellos que permanezcan flotando serán fácilmente removidos empleando redes de forma manual.

5.4.4. Diagrama de proceso

La Figura 4 muestra el proceso del sistema de tratamiento propuesto con una capacidad de 150 m³ de efluentes cada 16 horas. El efluente ingresa a la unidad de filtrado a una temperatura aproximada 60°C, con una concentración de sólidos suspendidos de 1.7 g/L y un pH de 11. Posteriormente el efluente ya filtrado ingresa al pozo de neutralización en donde se le suministra 6.25 m³ de gases de chimenea por hora a una concentración de 12% de CO₂. Una vez el efluente es neutralizado, se le aplica 27 litros de coagulante Perifloc al 10% por día (150 m³ de efluente) en caso de tener alta carga de colorante, y 18 litros al 10% si la carga es baja. Posteriormente se llevan a cabo los procesos de floculación y sedimentación con un alto tiempo de retención en cada proceso, para finalmente obtener el efluente decolorado y con las características físico-químicas requeridas para su reaprovechamiento.

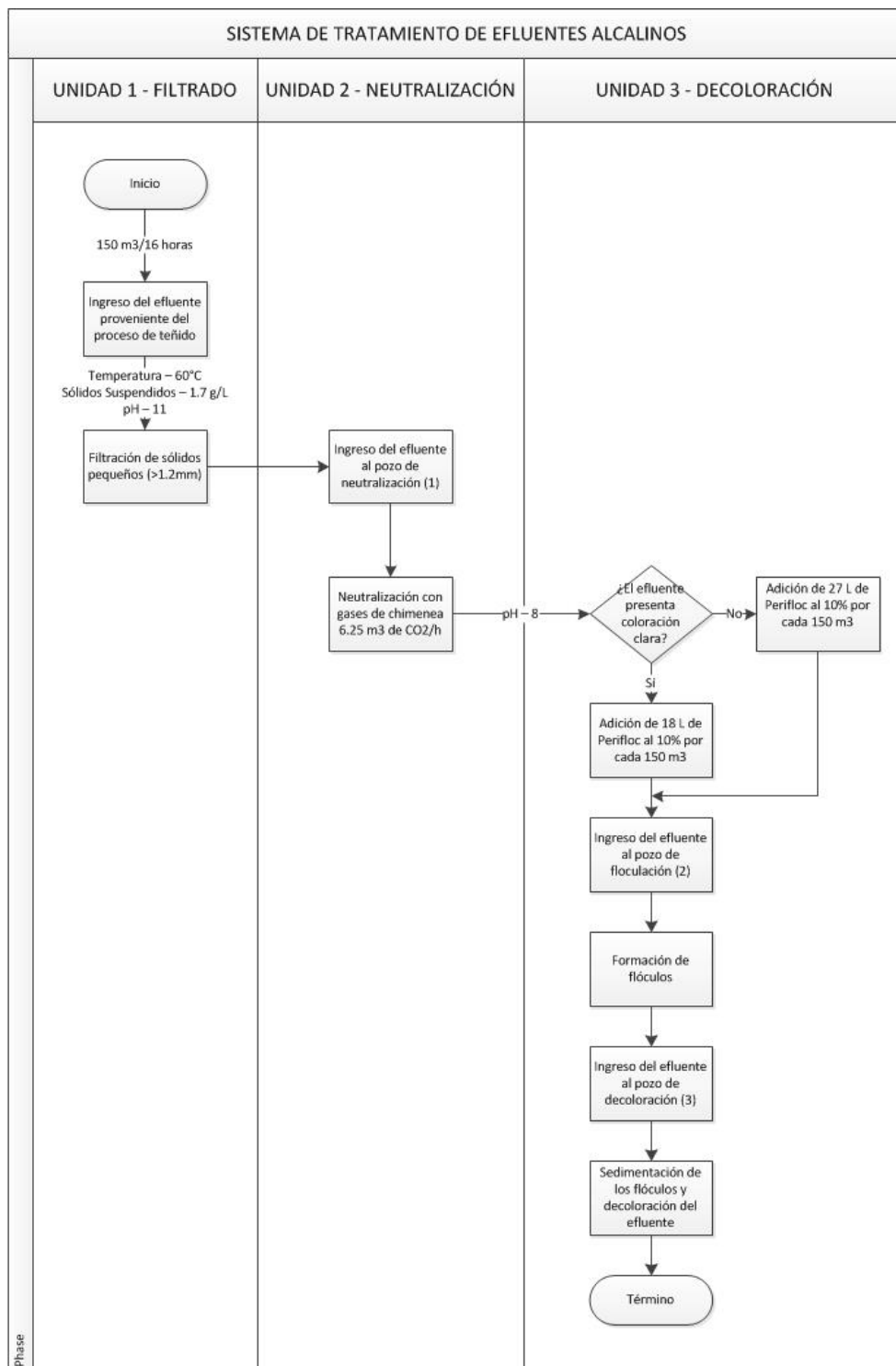


Figura 4. Diagrama del sistema de tratamiento mejorado

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

6.1. Construcción de las unidades constitutivas

6.1.1. Unidad de filtrado continuo

La unidad de filtrado continuo consiste en un sistema de tuberías (Figura 5) por donde los efluentes alcalinos provenientes del proceso de teñido son trasladados hacia el pozo de neutralización a través de un filtro Y (Figura 6). Este filtro Y tiene como función retener los sólidos suspendidos presentes en los efluentes y por tanto proteger la tubería y sus accesorios instalados, evitar bloqueos y mantener la transmisión del fluido en el sistema de tuberías. Cuando los efluentes circulan en el cartucho del filtro, las partículas sólidas son retenidas por la malla del filtro y el líquido filtrado circula hacia la salida del filtro con dirección al neutralizador. Este filtro está hecho de hierro fundido según ASTM126 Clase B; que presenta extremos bridados, pintura epóxica en el interior y exterior, soporta una presión máxima de trabajo de 200 psi y, su malla perforada es de acero inoxidable 304.



Figura 5. Sistema de tuberías



Figura 6. Filtro en Y

Adicionalmente para la instalación del filtro continuo, se utilizó tubos de PVC de 3" de diámetro de 18 metros de largo desde la salida del filtro hasta la entrada del pozo de neutralización. A su vez, se hizo uso de una válvula check de ½" para prevenir el golpe de ariete originado en un segmento de la tubería por la presencia accesorios hidráulicos, como válvulas y codos. Finalmente, el sistema de tuberías es sostenido por soportes metálicos colocados cada 3 metros aproximadamente para que de esta forma el peso del fluido esté mejor distribuido y el sistema de tuberías no ceda.

6.1.2. Unidad de neutralización

La unidad 2 consiste en un sistema de neutralización mediante el uso de gases de chimenea provenientes de la sala de calderas, los cuales son dirigidos mediante un conjunto de tuberías de PVC de 2" de diámetro hasta el pozo de neutralización (Figura 7), en el cual se da a

cabo la reacción de reducción de la basicidad de los efluentes hasta alcanzar un pH de “8” aproximadamente. Es requerido un nivel de pH próximo al neutro (valor de 8) en los efluentes a ser reutilizados, ya que si no cumple con este requisito surgirán inconvenientes en los procesos posteriores de coagulación y floculación, así como también en el de teñido al momento de reutilizar el efluente pues se reduce la velocidad de reacción, así como la eficiencia de la fijación del tinte sobre las telas.



Figura 7. Pozo de neutralización

El pozo de neutralización construido de concreto tiene dimensiones 3 metros de alto, 2.6 metros de ancho y 6.33 metros de largo, el objetivo de este pozo es albergar los efluentes alcalinos provenientes del proceso de teñido, los cuales fueron previamente filtrados, para dar lugar al proceso de neutralización con gases de chimenea, específicamente CO_2 , el cual se puede utilizar como especie ácida para la neutralización de corrientes líquidas alcalinas dado que en presencia de agua forma ácido carbónico.

Para la etapa de neutralización en esta planta piloto, se adquirió un neutralizador (Figura 8) de 1.5 KW de potencia nominal, con motor de eje hueco y tapa de goteo, un eje de accionamiento, un impulsor, tubería de aspiración, una placa de brida de acero inoxidable y un difusor cónico de polietileno. El eje vertical y diseño de la hélice del neutralizador crean un flujo vertical de aireación que permite tratar grandes volúmenes de aguas residuales, mientras que el impulsor giratorio atrae las aguas residuales desde abajo, y obtiene aire a través de la tubería de succión del embudo desde arriba, generando así una distribución de las burbujas en forma de abanico. La aireación se lleva a cabo con burbujas finas y una alta utilización de oxígeno (O_2) y dióxido de carbono (CO_2).

Adicionalmente, en esta etapa de neutralización se contrataron los servicios de la empresa EyP Fabricación y Mantenimiento E. I. R. L. para la construcción de los soportes del neutralizador y su implementación; estos soportes son de 3 m x 0.8 m y fueron fabricados con canales “U” de 4” x 7.25” según planos. En este mismo pozo se da lugar al proceso de coagulación, el cual consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un flóculo. Para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el flóculo o precipitado; por ello, el coagulante se introduce en el pozo de neutralización para aprovechar el rápido movimiento de los efluentes, y de esta forma el reactivo se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy corto.



Figura 8. Unidad de neutralizador

6.1.3. Unidad de decoloración físico-química

La unidad 3 consiste en un sistema de decoloración físico-química conformado por 2 pozos a desnivel conectados entre sí para permitir el flujo de efluentes por acción de la gravedad. En ambos pozos se llevan a cabo distintas etapas para la decoloración físico-química. En el primer pozo de concreto (Figura 9) cuyas dimensiones son 3.85 m de largo, 3.18 m de ancho y 4.2 m de altura, se da lugar a la etapa de floculación, que consiste en la unión entre los flóculos ya formados con el fin aumentar su volumen y peso de forma que puedan decantar, la cual es estimulada por una agitación lenta de la mezcla para así favorecer la unión entre los flóculos; adicionalmente, se construyó un muro de concreto en la mitad del pozo sin llegar a dividirlo completamente para incrementar la probabilidad de colisión entre los flóculos y puedan aglomerarse y decantar. A su vez, se instalaron tubos de PVC (Figura 10) para captar los efluentes provenientes del pozo de neutralización, cuya descarga al pozo de floculación se realiza

a bajo nivel con la finalidad de no romper las flóculos que se forman en el proceso, pues se vería afectada su decantación.



Figura 9. Pozo de floculación



Figura 10. Sistema de tuberías del pozo de floculación

En el segundo pozo (Figura 11) de 6.10 m de largo, 4.18 m de ancho x 4.05 m de altura, y donde se llevan a cabo las etapas de sedimentación de los flóculos y decoloración final de los efluentes, se construyó un muro de concreto de 3 m de alto, 4.5 m de largo y 0.15 m de espesor, quedando de esa forma parcialmente separadas dichas etapas para así facilitar las reacciones físicas que se desarrollan en ambas. Este segundo pozo es alimentado por el primer pozo a través de una tubería de PVC de 4" de diámetro y 9 metros de largo, y que finalmente descarga en el área del pozo establecida para la etapa de sedimentación, en donde los flóculos formados y agrupados se depositan al fondo del pozo dada la diferencia de densidades.



Figura 11. Pozo de sedimentación

Se instalaron también 3 muros de madera (Figura 12) cuyas dimensiones son de 0.2 metros sobre el nivel del agua y 1 metro por debajo del nivel del agua, los cuales cuentan con pequeños orificios distribuidos por toda su área para permitir el paso del efluente y retener los flóculos flotantes formados en los procesos previos y que no sedimentaron, llevándose a cabo la etapa de decoloración final de los efluentes.



Figura 12. Muro de madera

6.2. Integración de las partes constitutivas

La integración de las unidades constitutivas (Unidad de filtrado, unidad de neutralizado y la unidad de decoloración) tuvo una duración de 8 meses, lo que permitió como resultado una planta piloto de tratamiento de efluentes mediante la aplicación de métodos físico-químicos de una capacidad de operación por día 150 m³ por día de efluente.

En resumen esta planta piloto de efluentes textiles del proceso de teñido consta de un sistema de filtrado continuo que además de retener los sólidos presentes en los efluentes, los transfiere hasta el área destinada para los pozos de tratamiento en los que se llevarán a cabo los procesos físico-químicos. Los pozos están distribuidos de forma lineal teniendo una inclinación descendente desde el primer pozo hasta el tercero, de modo que al aprovecharse la fuerza de gravedad, pueda generarse un flujo continuo de efluentes a través de los procesos de neutralización y decoloración.

Los pozos de tratamiento están integrados entre sí por sistemas de tuberías de PVC que unen la salida de un pozo a la entrada del siguiente, descargando el efluente a bajo nivel para evitar la ruptura de las natas presentes en cada uno de ellos.

El tiempo de ciclo de tratamiento, contemplado desde que el efluente ingresa al pozo de neutralización hasta su salida del sistema, tiene una duración de 16 horas aproximadamente.

La planta piloto fue construida en base a materiales inertes que evitan su deterioro por corrosión, siendo las pozas de concreto armado y las diversas tuberías de PVC, siendo también inertes los materiales filtrantes.

CAPÍTULO VII: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

7.1. Desarrollo de pruebas

Para la evaluación del desempeño del sistema, se consideró analizar las características de calidad del efluente tomando en cuenta la normativa ambiental vigente; así como también, su relevancia en los procesos donde será reutilizado. Entre estas características físico-químicas tenemos pH, temperatura, DBO, DQO y sólidos suspendidos.

Las muestras a analizar para caracterizar el efluente serán tomadas en diferentes puntos del sistema, para así evaluar el desempeño de cada unidad constitutiva y del sistema integrado, y determinar el cumplimiento de los objetivos establecidos mediante la comparación con las regulaciones ambientales vigentes.

El primer punto donde se ha de tomar las respectivas muestras se encuentra posterior al área de tintorería y antes del primer filtro “Y”. El segundo punto, posterior al sistema de filtrado continuo, se ubica al inicio del pozo 1. Las muestras son tomadas en la superficie debido a que estas aún no han reaccionado con los gases de chimenea. El tercer punto se encuentra a la mitad del pozo 1 y a una profundidad de 1.5 metros ya que en este punto el efluente ya se encuentra homogenizado y neutralizado y no ha tenido contacto con el coagulante.

Finalmente, el cuarto punto está ubicado al final del pozo 3, posterior a los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, es decir, al final de la unidad de decoloración. Estas muestras también son tomadas a 1.5 metros de profundidad.

7.1.1. Prueba de SST

En cuanto a la determinación de los Sólidos Suspendidos Totales (SST), se procedió a medir con una probeta 100 ml. de la muestra recogida. Como se mencionó, la primera toma fue

realizada antes del filtro, específicamente en el pozo de almacenamiento y la segunda muestra se tomó después del filtro (en la tubería de salida); siendo necesario remarcar que en este punto no existió la adición de coagulante, ni ácido u otro tipo de producto. Esta última muestra fue previamente homogenizada, a esta alícuota se realizó una filtración con papel filtro (lento) previamente tarado y pesado; para acelerar el proceso, se utilizó una bomba de vacío. Posterior a la filtración de la alícuota se retiró con cuidado el papel del embudo y se secó en la estufa a una temperatura de 103 °C a 105 °C durante media hora aproximadamente; cumplido el tiempo se retiró el papel y se dejó enfriar para luego proceder a pesarlo.

7.1.2. Prueba de pH y temperatura

Para la medición de pH se utilizó un medidor de pH marca HANNA previamente calibrado. Esta prueba se basa en la capacidad de respuesta del electrodo de vidrio ante soluciones de diferente actividad de iones H^+ . La fuerza electromotriz producida en el electrodo de vidrio varía linealmente con el pH del medio.

Se procedió a leer el valor del pH en cada uno de los puntos escogidos en el momento en que la lectura se haya estabilizado en el pH-metro, aproximadamente un minuto después de extraída la muestra.

Para la medición de temperatura se utilizó un termómetro digital marca HANNA, previamente calibrado. Se estabilizó la sonda antes de la medición con una muestra en blanco y se esperó alrededor de 2 minutos hasta tener una temperatura estable para recopilar la información obtenida.

7.1.3. Prueba de DBO

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

Según la metodología descrita por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM (2004), las muestras de agua residual o una dilución conveniente de las mismas, se incuban por cinco días a 20°C en la oscuridad. La disminución de la concentración de oxígeno disuelto (OD), medida por el método Winkler o una modificación del mismo, durante el periodo de incubación, produce una medida de la DBO.

7.1.4. Prueba de DQO

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, que son oxidables en condiciones operatorias definidas.

Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujo en solución fuertemente ácida (H_2SO_4) con un exceso conocido de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) en presencia de sulfato de plata (Ag_2SO_4) que actúa como agente catalizador, y de sulfato mercurico (HgSO_4) adicionado para remover la interferencia de los cloruros. Después de la digestión, el remanente de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sin reducir se titula con sulfato ferroso de amonio; se usa como indicador de punto final el complejo ferroso de ortofenantrolina (ferroina). La materia orgánica oxidable se calcula en términos de oxígeno equivalente.

Para muestras de un origen específico, la DQO se puede relacionar empíricamente con la DBO, el carbono orgánico o la materia orgánica. El método es aplicable a aguas superficiales y

residuales, usando el dicromato de 0,025 N en un rango de 2.0 mg O₂/L a 100 mg O₂/L, usando el dicromato de 0,10 N en un rango de 10 mg O₂/L a 450 mg O₂/L y con el dicromato de 0,25 N tiene un intervalo de lectura de 10 mg O₂/L a 1000 mg O₂/L (IDEAM, 2004).

7.1.5. Prueba de teñido con efluentes tratados

Con la finalidad de verificar la calidad de la tela que ha sido teñida empleando los efluentes tratados en la planta piloto de tratamiento, fue necesario realizar pruebas al producto acabado, pues es imprescindible mantener o mejorar la calidad del producto que se brinda a los clientes y para ello se ha desarrollado las pruebas aplicables a los estándares en línea.

Para un mercado de consumo de alta calidad, el cual la empresa abastece en cuanto a tela, se debe cumplir con las siguientes normas:

- Solidez al Frote ISO X-12
- Solidez a la Luz ISO 105 B01
- Solidez al Sudor ISO 105 E04
- Prueba de estabilidad dimensional AATCC 135

En caso de incumplimiento de los parámetros exigidos, el producto (tela) no podría pasar a la siguiente etapa del proceso, es decir al corte de la misma.

Para las evaluaciones realizadas se consideraron:

- Parámetros exigidos según norma internacional.
- Tela teñida con “agua limpia” de las mismas condiciones y características que la tela teñida con los efluentes. Ésta sirve como “blanco” de comparación.
- Tela teñida con efluente tratado, la cual debe ser evaluada.

7.2. Resultados

7.2.1. Resultados del desempeño del sistema

La Tabla 5 resume los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas para determinar si el desempeño del sistema es el esperado y si este queda validado.

Tabla 5:

Matriz de evaluación de desempeño del sistema de tratamiento

Matriz de evaluación de desempeño del sistema de tratamiento										
Prueba	Parámetros de comparación	Punto 1- aguas no tratadas		Punto 2-proceso de filtrado		Punto 3-proceso de neutralización		Punto 4-proceso de coagulación-floculación		Cumplimiento final
Sólidos Suspendidos	500 mg/L según DS. 021-2009-VIVIENDA	Resultado	1674 mg/L	Resultado	131 mg/L	Resultado	125 mg/L	Resultado	83 mg/L	Sí
		Cumplimiento	No	Cumplimiento	Sí	Cumplimiento	Sí	Cumplimiento	Sí	
Medición de pH	De 6 a 9 según DS. 021-2009-VIVIENDA	Resultado	10.73	Resultado	10.5	Resultado	8.29	Resultado	7.8	Sí
		Cumplimiento	No	Cumplimiento	No	Cumplimiento	Sí	Cumplimiento	Sí	
Temperatura °C	35°C según DS. 021-2009-VIVIENDA	Resultado	61.26 °C	Resultado	34.93 °C	Resultado	29.59 °C	Resultado	29.63 °C	Sí
		Cumplimiento	No	Cumplimiento	Sí	Cumplimiento	Sí	Cumplimiento	Sí	
Demanda bioquímica de oxígeno DQO	500 mg O/L según DS. 021-2009-VIVIENDA	Resultado	370 mg O/L	Resultado	370 mg O/L	Resultado	295 mg O/L	Resultado	265 mg O/L	Sí
		Cumplimiento	Sí	Cumplimiento	Sí	Cumplimiento	Sí	Cumplimiento	Sí	
Demanda química de oxígeno DQO	1000 mg O/L según DS. 021-2009-VIVIENDA	Resultado	904 mg O/L	Resultado	964 mg O/L	Resultado	640 mg O/L	Resultado	357 mg O/L	Sí
		Cumplimiento	Sí	Cumplimiento	Sí	Cumplimiento	Sí	Cumplimiento	Sí	

Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse, para el caso de los sólidos suspendidos, el nivel de concentración inicial en el efluente es bastante elevado, llegando a sobrepasar el máximo permitido en más de 3 veces. Las muestras estudiadas en el punto 2, es decir, posterior al proceso de filtrado continuo, revelan una drástica caída en la concentración de SST, alcanzando niveles inferiores al descrito en el DS. 021-2009-VIVIENDA (500 mg/L), por lo que se demuestra que la unidad de filtrado cumple con los objetivos previstos. Muestras posteriores al punto 2 revelan que los SST continúan reduciéndose, especialmente después de la unidad de decoloración.

Asimismo, los niveles iniciales de pH reflejan que el efluente es altamente alcalino, por lo que no puede ser reaprovechado ni mucho menos dispuesto a la red de alcantarillado municipal pues excede en alrededor de 2 puntos el máximo permitido según el DS. 021-2009-VIVIENDA, cuyo rango oscila entre 6 y 9. Sin embargo, una vez neutralizado el efluente con los gases de chimenea, este alcanza un pH promedio de 8.29, situándose dentro del rango permitido. Se aprecia además que este pH baja a 7.8 al final del sistema gracias a la adición del floculante Perifloc, que como se mencionó anteriormente en el capítulo de diseño, colabora con la reducción del pH, así como también con los niveles de DBO y DQO.

Para el caso de la temperatura del efluente, se tuvo como resultado que a la salida del área de tintorería, este se encuentra a 61.26 °C por demás superior a los 35°C que establece como límite la normativa. No obstante, su temperatura cae hasta 34.93°C antes del proceso de neutralización, y por debajo de 30°C a la salida del sistema. Esto se debe en primera instancia a la agitación generada en el pozo de neutralización, y al alto tiempo de retención del efluente en el sistema en general. Los pozos donde es tratado el efluente se encuentran al aire libre por lo que este se enfría debido a la temperatura ambiente.

Finalmente, con respecto al DBO y DQO, los niveles presentes en el efluente son inferiores a los establecidos por el DS. 021-2009-VIVIENDA; sin embargo, estos se encuentran próximos a tales límites. Se evidenció un decrecimiento en ambos niveles después del proceso de neutralización por consecuencia de la aireación, y una reducción adicional al final del sistema por acción del coagulante aplicado.

7.2.2. Resultados de teñido con efluentes tratados

La Tabla 6 recopila los resultados obtenidos mediante un análisis de laboratorio en las instalaciones de la empresa Franky y Ricky y cuya metodología se basa en la aplicación de diferentes normas del ámbito textil. La tela teñida con efluente tratado es la muestra a analizar.

Tabla 6:

Resultados de teñido con efluentes tratados

Parámetros de Calidad exigidos (Rango de aceptación)		Tela teñida con “agua limpia”	Tela teñida con efluente tratado	Resultado
Solidez al frote ISO X-12	Seco: 4	4	4	Aprobado
	Húmedo: 3-4	3	4	Aprobado
Solidez a la luz ISO 105 B01	4-5	4-5	4-5	Aprobado
Solidez al sudor ISO 105 E04	4	4	4	Aprobado
Estabilidad dimensional AATCC 135 (Encogimiento)	Largo: 5%	5%	5%	Aprobado
	Ancho: 5%	5%	5%	Aprobado

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Textil – Franky y Ricky S. A

Como puede observarse, en la primera columna de la izquierda se tiene los parámetros de calidad exigidos según las diferentes normas consideradas. La tabla además incluye una

comparación entre los resultados obtenidos empleando agua municipal y efluente tratado en el proceso de teñido textil.

Los resultados reflejan niveles similares en la calidad de la tela teñida con agua municipal, así como también con efluente tratado. Esto se evidencia especialmente en los parámetros de estabilidad dimensional, solidez al sudor y solidez a la luz, cuyos resultados, además de ser iguales, se encuentran acorde con lo exigido por las normas referidas.

Para el caso de solidez al frote, se observa que ambas telas cumplen con las normas establecidas, puesto que a pesar de que sus valores en húmedo difieren, ambos se encuentran dentro del rango exigido.

7.3. Análisis de costo-beneficio

7.3.1. Análisis de costos

Los efluentes de agua que provienen de tintorería son caudales considerables, que tienen hoy un costo elevado, no solo por el uso, sino por la emisión a la red municipal, además de generar impacto en el medio ambiente.

Se consideraron 3 costos principales para la ejecución del análisis. El primer costo parcial está sujeto a la cantidad de coagulante utilizada para el proceso de decoloración del efluente. El segundo comprende el costo para la evacuación de sólidos retenidos en el proceso de filtrado y aquellos adicionales que sedimentaron en los pozos de tratamiento. Finalmente, el tercero se refiere al costo para la operación de la planta de tratamiento que incluye horas-hombre, máquinas, equipos y suministro eléctrico.

El costo final será resultado de la suma de los 3 costos parciales mencionados anteriormente, y que serán comparados con el costo de empleo del agua de la red municipal y del tratamiento que actualmente realiza la empresa, con la finalidad de determinar el beneficio total de la planta en términos económicos.

Costo por cantidad de coagulante a emplear (Costo 1)

La preparación y dosificación de solución de coagulante elegido se puede apreciar en la Tabla 7.

Tabla 7:

Condiciones de dosificación del coagulante Perifloc R

Coloración en el efluente	Clara	Intermedia	Oscura	Total
Volumen de efluente	45 m3	52.5 m3	52.5 m3	150 m3
Tiempo	16 horas	16 horas	16 horas	-
Coagulante	Perifloc	Perifloc	Perifloc	-
Cantidad de coagulante	0.54 Kg	0.945 Kg	0.945 Kg	2.43 Kg
Agua de disolución	4.86 L	8.5 L	8.5 L	21.87 L
Total solución	5.4 L	9.45 L	9.45 L	24.3 L
Dosificación	0.012 g/L	0.018 g/L	0.018 g/L	0.016 g/L
Precio por Kg	\$ 3.38	\$ 3.38	\$ 3.38	-
Costo de coagulante	\$ 1.83	\$ 3.19	\$ 3.19	\$ 8.21

Fuente: Elaboración propia.

Acorde con la Tabla 7 mostrada se tiene que para el tratamiento del volumen que se evacua por día de labor en la tintorería sería:

$$2.43 \text{ kg} * \$ 3.38 = \$ 8.21 \text{ por } 150 \text{ m}^3$$

Lo que implica que el costo por m³ de agua a tratar sería de \$0.055/m³. El costo anual por aplicación de coagulante sería el siguiente:

$$\text{Costo 1: } \$ 8.21/\text{día} * 26 \text{ días} * 12 \text{ meses} = \$ 2,562.58/\text{año}$$

Costo por evacuación de sólidos suspendidos (Costo 2)

Es indispensable también el evacuar los sólidos retenidos en el proceso de filtrado y los que se encuentran en suspensión y que sedimentarán luego del tratamiento de efluentes.

La estimación de los sólidos suspendidos que sedimentaron y deben ser evacuados resulta de la diferencia de la concentración de sólidos suspendidos en el efluente tanto en la planta de tratamiento antigua (138 mg/L) como en la mejorada (83 mg/L).

$$[138 \text{ mg/L} - 83 \text{ mg/L}] * 150,000 \text{ L de efluente} = 8.25 \text{ kg de sólidos}$$

$$8.25 \text{ kg de sólidos} * 26 \text{ días} = 214.5 \text{ kg de sólidos}$$

Acorde a lo expuesto anteriormente tenemos que estos sólidos se evacuarán a través de contratación de una empresa dedicada a la disposición final de residuos de sólidos que cobraría por evacuar 10,000 kilos el monto de \$500. Debido a que la cantidad de sólidos adicional a evacuar es mínima, se asumirá que el costo por evacuación de residuos es de \$500, tal como se venía trabajando con el sistema de tratamiento antiguo.

$$\text{Costo 2: } \$ 500 * 12 \text{ meses} = \$ 6,000 \text{ dólares/año}$$

Costo por operación y mantenimiento de la planta de tratamiento (Costo 3)

Se estima que el costo por operación de la planta de tratamiento bordea los \$ 1,350 anuales y que contempla básicamente el personal contratado para su funcionamiento, el suministro eléctrico de los equipos. El costo por mantenimiento de equipos y unidades, y limpieza periódica de los pozos es aproximadamente \$ 6,800, dando un monto final de \$ 8,150. Este costo estimado es aproximadamente 246% mayor a los \$ 3,300 anuales del sistema anterior.

Costo 3: \$ 8,150/año

Costo total: Costo 1+ Costo 2 + Costo 3

Costo total: \$ 2,562.58/año + \$ 6,000 dólares/año + \$ 8,150/año = \$16,712.58/año

Costo actual del agua de red municipal

Para determinar el beneficio obtenido con el reaprovechamiento del efluente, se tomó como parámetro de comparación el costo del agua de la red municipal que actualmente es de \$1.30/m³

Para usar el agua en la tintorería tiene que pasar por un proceso de intercambio iónico que significa quitar la dureza que la constituyen el contenido de iones de Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Fe⁺⁺, que perjudican el teñido, y también al caldero que genera vapor, energía térmica que se utiliza en diversas etapas del proceso de teñido.

Ablandar el agua implica:

- Costo de pozo profundo

- Costo de resina para ablandar el agua
- Costo de tiempo de regeneración
- Costo de la sal (cloruro de sodio)
- Costo de energía
- Costo mano de obra
- Costo mantenimiento de pozo profundo.

Los costos mencionados implican un costo de \$ 0.65/m³ que sumados al \$1.30/m³ del agua de la red municipal, dan un total de \$1.95/m³. Para teñido de algodón con colorante reactivo se usa agua blanda para todo el proceso ello implica que para la tintorería de Franky y Ricky se requieren 150 m³ de agua blanda a un costo:

$$150 \text{ m}^3 \times \$1.95/\text{m}^3 = \$292.5/\text{día}$$

Por lo que considerando 26 días de trabajo al mes por 12 meses, se tiene un costo por agua blanda de \$91,260/año.

Para determinar la cantidad de agua municipal que se dejará de emplear debido a la sustitución de la misma por efluente tratado se debe tener en consideración lo siguiente: el efluente tratado se puede emplear únicamente para el teñido de prendas cuya coloración es oscura o intermedia, lo cual representa aproximadamente el 70% de la producción. El otro 30% que corresponde a las prendas claras deberá ser teñido exclusivamente con agua municipal. Se debe considerar además que el efluente tratado sólo puede ser reutilizado hasta máximo dos veces; caso contrario, se acumularía la concentración de cobre, plomo y níquel en el efluente.

La Tabla 8 muestra la comparación disgregada entre los costos del sistema de tratamiento antiguo y del mejorado. Así también, muestra el beneficio obtenido debido al reaprovechamiento del efluente tratado. Si bien el costo del sistema actual es aproximadamente 70% superior al antiguo, este permite obtener un ahorro del 65% en consumo de agua municipal, lo que se traduce en un beneficio económico para la empresa de \$ 28917.42 anuales. A su vez, si se consideran los gastos que se dejan de realizar por el funcionamiento del sistema antiguo, los cuales ascienden a \$ 11080, se estaría obteniendo un beneficio total de \$ 53686.42 al año.

Tabla 8:

Consolidado de costos y beneficios

		Sistema Antiguo	Sistema Actual
Costo 1	Neutralizante	1240	0.00
	Coagulante	No aplica	2562.58
	Total	1240	2562.58
Costo 2	Disposición de Sólidos	6000	6000
Costo 3	Costos operativos	600	1350
	Mantenimiento	2700	6800
	Total	3300	8150
Costo Anual Total		9840	16712.58
Agua	Agua Municipal	60840	60840
	Tratamiento	30420	30420
	Total	91260	91260
Efluente Reaprovechado	Porcentaje	0%	65%
	Monto	0.00	59319
Beneficio Anual Total		-11080	42606.42

Fuente: Elaboración propia.

7.3.2. Flujo de caja

El presente proyecto fue financiado por el Estado Peruano a través del Fondo de Investigación y Desarrollo para la Competitividad FIDECOM, el cual fomenta proyectos de innovación en las empresas para la generación de conocimiento, mejora de la productividad y generación de clústeres. En la Tabla 9 se observa el aporte monetario de FIDECOM y Franky y Ricky dividido en diferentes partidas presupuestales. El monto total es la inversión realizada, el cual será considerado para evaluar si el proyecto es viable y si se generan beneficios para la empresa.

Tabla 9:

Presupuesto del proyecto

Presupuesto del proyecto			
Partida presupuestal de gasto	FIDECOM	Franky y Ricky	Total
Materiales e insumos	5602	2090	7693
Consultorías	7385	1471	8857
Servicios tecnológicos	7294	1313	8607
Pasajes y viáticos	4093	736	4830
Otros gastos elegibles	2361	370	2731
Honorarios	40329	0	40329
Equipos y bienes duraderos	26727	3704	30431
Gastos de gestión	3859	664	4523
Total	97650	10350	108000

Fuente: Elaboración propia.

Para la evaluación económica se realizará un flujo de caja para actualizar los costos y ahorros del sistema antiguo y del actual y compararlos en el presente para así determinar si el balance es positivo. En la Tabla 10 se detallan las variables a considerar en el análisis, así como también el incremento anual estimado en el valor de las mismas.

Tabla 10:

Costos variables de tratamiento de efluentes

Variables	2016	Incremento
Costo de agua municipal	60840	3%
Costo de ablandamiento agua municipal	30420	2%
Sistema de tratamiento antiguo		
Mantenimiento	2700	
Costos de operación	600	2.50%
Costo de neutralizante	1240	2%
Disposición de residuos	6000	
Sistema de tratamiento actual		
Mantenimiento	6800	
Costos de operación	1350	2.50%
Costo de coagulante	2563	2%
Disposición de residuos	6000	

Fuente: Elaboración propia.

Se plantean dos escenarios a evaluar; el primero es el escenario real, en el cual la empresa recibe financiamiento de FIDECOM y por lo tanto el valor a considerar en la inversión inicial es únicamente el aportado por Franky y Ricky, es decir, \$ 10,350.00. El segundo escenario plantea la inversión total de \$ 108,000.00, que es el monto que la empresa hubiera tenido que aportar en caso hubiese ejecutado el proyecto sin financiamiento del Estado. Para ambos casos se está considerando una tasa de descuento del 15%; dicha tasa es normalmente aplicada por Franky y Ricky en sus análisis de inversión. Además, se ha planteado proyectar el flujo en 10 años, considerando la operatividad del sistema, la depreciación de los equipos y la aparición de nuevas tecnologías que permitan mejorar la eficiencia del sistema.

Debido a que el sistema de tratamiento no genera ingresos, sino más bien reduce los costos por consumo de agua, el VAN en ambos escenarios será negativo pues el flujo económico es únicamente de egresos. Por ello, es importante comparar el valor actual neto del sistema antiguo y actual para así determinar el posible ahorro generado.

Escenario 1

Sistema Antiguo	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Inversión inicial	0	0										
Costo de agua municipal	57244	59015	60840	62665	64545	66482	68476	70530	72646	74826	77070	79382
Costo de ablandamiento agua municipal	29215	29812	30420	31028	31649	32282	32928	33586	34258	34943	35642	36355
Costo de agua	86460	88826	91260	93694	96194	98763	101404	104116	106904	109769	112712	115737
Mantenimiento	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700
Costos de operación	570	585	600	615	628	640	653	665	678	690	703	715
Costo de neutralizante	1191	1215	1240	1265	1290	1314	1339	1364	1389	1414	1438	1463
Disposición de residuos	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
Costo de tratamiento de efluente	10461	10500	10540	10580	10617	10654	10692	10729	10766	10804	10841	10878
Costo Total	96921	99327	101800	104273	106811	109418	112095	114845	117670	120572	123553	126615

Sistema Actual	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Inversión inicial	10350	0										
Costo de agua municipal	57244	59015	21294	21933	22591	23269	23967	24686	25426	26189	26975	27784
Costo de ablandamiento agua municipal	29215	29812	10647	10860	11077	11299	11525	11755	11990	12230	12475	12724
Costo de agua	86460	88826	31941	32793	33668	34567	35491	36441	37416	38419	39449	40508
Ahorro agua	0	0	59319	60901	62526	64196	65912	67676	69488	71350	73263	75229
Mantenimiento	2700	2700	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800
Costos de operación	570	585	1350	1384	1396	1409	1421	1434	1446	1459	1471	1484
Costo de coagulante	1191	1215	2563	2588	2613	2637	2662	2687	2712	2737	2761	2786
Disposición de residuos	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
Costo de tratamiento de efluente	10461	10500	16713	16772	16809	16846	16883	16921	16958	16995	17033	17070
Costo Total	107271	99327	48654	49564	50477	51413	52375	53361	54374	55414	56482	57578
Ahorro Total	0	0	42606	44129	45717	47350	49029	50755	52530	54354	56230	58159

Sistema Antiguo													
Evaluación Económica	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
Flujo económico	-96921	-99327	-101800	-104273	-106811	-109418	-112095	-114845	-117670	-120572	-123553	-126615	
FSA	1.00	0.87	0.76	0.66	0.57	0.50	0.43	0.38	0.33	0.28	0.25	0.21	VAN
Total	-96921	-86414	-76975	-68561	-61070	-54400	-48462	-43175	-38467	-34274	-30540	-27215	-666474

Sistema Actual													
Evaluación Económica	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
Flujo económico	-107271	-99327	-48654	-49564	-50477	-51413	-52375	-53361	-54374	-55414	-56482	-57578	
FSA	1.00	0.87	0.76	0.66	0.57	0.50	0.43	0.38	0.33	0.28	0.25	0.21	VAN
Total	-107271	-86414	-36789	-32589	-28860	-25562	-22643	-20061	-17775	-15752	-13961	-12376	-420054

Como se observa, una vez actualizados los flujos de ambos sistemas, se obtiene que el VAN del sistema actual es menos negativo, lo que refleja la reducción de costos y el ahorro generado gracias a la inversión realizada para el mejoramiento de los procesos. El saldo es positivo en \$ 246,420.00 que es la diferencia entre ambos valores en el presente. Asimismo, considerando el ahorro anual y la inversión inicial, se observa que el TIR del proyecto es de 184%, el cual es bastante elevado gracias a que la inversión por parte de la empresa es pequeña en comparación a los beneficios que se tienen a partir del primer año de operación del sistema mejorado.

2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
-10350	0	53146	54709	56334	58004	59721	61484	63296	65158	67071	69037

TIR	184%
-----	------

Escenario 2

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Inversión inicial	72000	36000										
Costo de agua municipal	57244	59015	21294	21933	22591	23269	23967	24686	25426	26189	26975	27784
Costo de ablandamiento agua municipal	29215	29812	10647	10860	11077	11299	11525	11755	11990	12230	12475	12724
Costo de agua	86460	88826	31941	32793	33668	34567	35491	36441	37416	38419	39449	40508
Ahorro agua	0	0	59319	60901	62526	64196	65912	67676	69488	71350	73263	75229
Mantenimiento	2700	2700	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800
Costos de operación	570	585	1350	1384	1396	1409	1421	1434	1446	1459	1471	1484
Costo de coagulante	1191	1215	2563	2588	2613	2637	2662	2687	2712	2737	2761	2786
Disposición de residuos	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
Costo de tratamiento de efluente	10461	10500	16713	16772	16809	16846	16883	16921	16958	16995	17033	17070
Costo Total	168921	135327	48654	49564	50477	51413	52375	53361	54374	55414	56482	57578
Ahorro Total	0	0	42606	44129	45717	47350	49029	50755	52530	54354	56230	58159

Sistema Antiguo													
Evaluación Económica	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
Flujo económico	-96921	-99327	-101800	-104273	-106811	-109418	-112095	-114845	-117670	-120572	-123553	-126615	
FSA	1.00	0.87	0.76	0.66	0.57	0.50	0.43	0.38	0.33	0.28	0.25	0.21	VAN
Total	-96921	-86414	-76975	-68561	-61070	-54400	-48462	-43175	-38467	-34274	-30540	-27215	-666474

Sistema Actual													
Evaluación Económica	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
Flujo económico	-168921	-135327	-48654	-49564	-50477	-51413	-52375	-53361	-54374	-55414	-56482	-57578	
FSA	1.00	0.87	0.76	0.66	0.57	0.50	0.43	0.38	0.33	0.28	0.25	0.21	VAN
Total	-168921	-117734	-36789	-32589	-28860	-25562	-22643	-20061	-17775	-15752	-13961	-12376	-530616.50

2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
-72000	-36000	53146	54709	56334	58004	59721	61484	63296	65158	67071	69037
TIR	40%										

El segundo escenario se diferencia del primero en el hecho que se considera a la empresa como única aportante del capital, por lo que la inversión inicial aumenta considerablemente. Así, se observa que una vez los valores de ambos sistemas son actualizados, se obtiene un saldo menor al primer escenario, pero que aún sigue siendo positivo en \$ 135.858.12. Cabe resaltar que la naturaleza del proyecto es de investigación e innovación; por ello, el monto asignado a la partida de honorarios del equipo técnico es de aproximadamente el 37% de la inversión total.

Adicionalmente, existen otras partidas como consultorías y pasajes y viáticos que fueron destinadas para la adquisición de conocimientos.

Es importante realizar una comparación entre ambos escenarios pues revela lo fundamental que es la promoción de la innovación por parte del Estado. El rol que desarrolló el Ministerio de la Producción a través del FIDECOM no solo genera beneficios económicos para la empresa, sino que también fomenta la filosofía de innovación y mejora continua, colabora con la generación de conocimientos y tecnologías replicables por otras empresas, y en general incrementa la competitividad del sector.

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realizó un análisis exhaustivo de la situación del sistema de tratamiento mediante la evaluación de sus procesos y la caracterización del efluente tratado. Se determinó que el efluente no era apto para ser reaprovechado y se identificaron puntos de mejora en cada uno de los procesos involucrados.

Se elaboró una propuesta de mejora en base a los resultados obtenidos al analizar la situación del sistema. Para el desarrollo de la propuesta se consideraron también los resultados obtenidos a partir de las pruebas experimentales realizadas que permitieron identificar los valores óptimos de dosificación de gases de chimenea en la unidad de neutralización y de coagulante-floculante Perifloc en la unidad de neutralización.

Se implementaron los cambios en el sistema de tratamiento según la propuesta de mejora, adicionando un filtro Y en la unidad de filtrado continuo, instalando el inyector de CO₂ en la unidad de neutralización, y adicionando un tratamiento secundario (coagulación-floculación) para la decoloración del efluente. El sistema mejorado se puso en marcha y se encuentra operativo.

Se analizaron las características físico-químicas (nivel de pH, porcentaje DBO, DQO, grado de decoloración) del efluente tratado en el sistema mejorado, teniendo como resultado que el efluente es apto para ser reaprovechado hasta dos veces en las actividades de teñido textil de prendas oscuras e intermedias; por lo tanto, se concluye que el reaprovechamiento de efluentes es factible, validando de esta forma el sistema mejorado.

Se realizó un análisis costo-beneficio en el que se identificó un ahorro de \$ 56,146.42 del sistema actual en comparación con el sistema antiguo, pues si bien los costos de tratamiento del

sistema mejorado son aproximadamente 70% mayores, el consumo de agua municipal se reduce hasta en un 65%, lo que se traduce en un importante beneficio económico para la empresa. Se elaboró además un flujo de caja proyectado a 10 años en el que se observa un ahorro de \$ 246,420.00 actualizado al presente. Se determina que el proyecto es viable y altamente beneficioso para la empresa bajo las condiciones en las que este fue desarrollado, es decir, con financiamiento del Estado Peruano.

Se recomienda limpiar el tamiz de ambos filtros cada 8 horas para evitar la acumulación de materia en cada filtro que reduzca su capacidad de retención de sólidos.

Se recomienda el monitoreo permanente de la concentración de CO₂ en los gases de chimenea para que de esta forma se pueda suministrar de forma más precisa esta especie ácida en el proceso de neutralización.

Se recomienda investigar la posibilidad de reaprovechar el efluente tratado en otros procesos del área de tintorería, como por ejemplo lavado y enjuague. Debería evaluarse también si el efluente final requerirá algún tratamiento adicional para ser apto para emplearse en dichos procesos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación*. Lima, Perú: SEDAPAL Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico.
- CENTRUM. (2010). *Sector textil del Perú*. Lima, Perú.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Coyoacán: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cortina Domínguez, C. F., Márquez Ortiz, R. (2008). Alternativa de tratamiento de aguas residuales de la industria textil. (Tesis de grado inédito). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.
- Cruz, A., y Buitrón, G. (2004). Anaerobic/aerobic treatment of colorants present in. *Water Science and Technology* , 50, 149-155.
- Duque Arguello, G. E. (2014). Aprovechamiento de los gases de combustión de caldero en la neutralización de aguas residuales alcalinas (Tesis de grado inédito). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Faanes, A., y Skogestad, S. (2003). pH-neutralization: integrated process and control design.
- Facultad de Ciencias Químicas Universidad Autónoma de Chihuahua. (Octubre de 2009). *Facultad de Ciencias Químicas Universidad Autónoma de Chihuahua*. Obtenido de <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/parametros.html>
- Fernández, G. (2013). Validación de los métodos de ensayo para DBO5 en aguas residuales, TPH, aceites y grasas en aguas residuales y suelos. Quito.

IDEAM. (2004). *Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas*. Bogotá.

Jaramillo, E. (11 de Enero de 2012). Diseño y construcción de un reactor de electrocoagulación para el estudio de tratamiento de agua residual de tintura y acabado textil. Ibarra, Ecuador.

Jaureguiberry, M. (2006). Seguridad e higiene en el trabajo. *Efluentes industrial*.

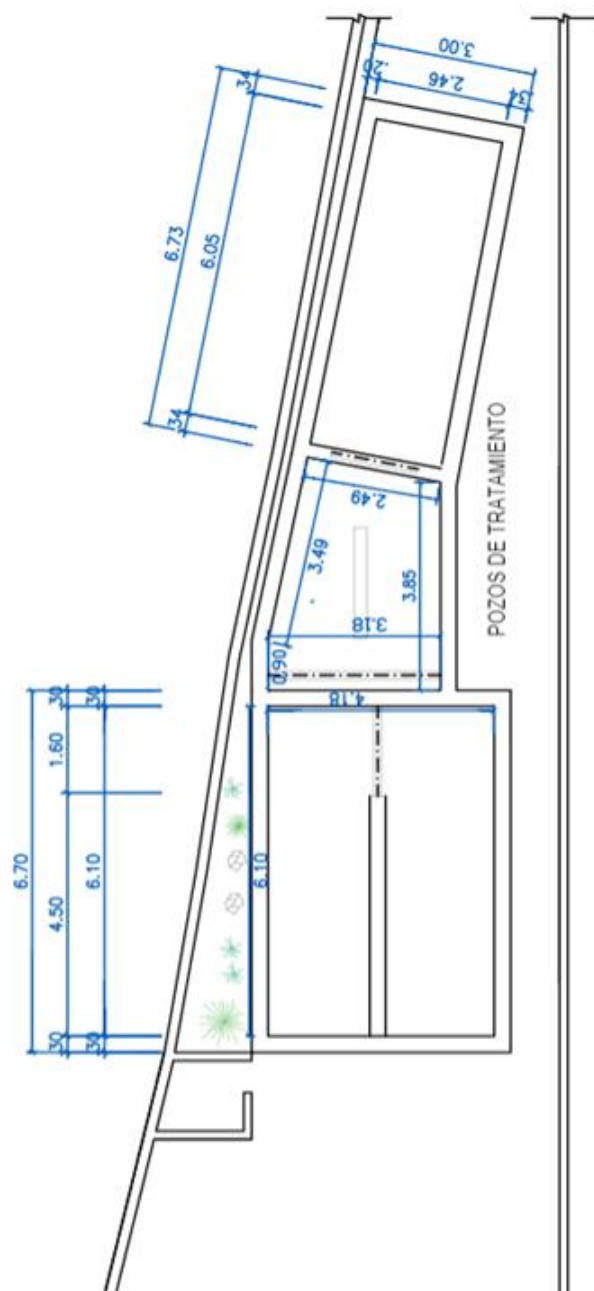
Medina, J., y Miranda, G. (2007). *Diseño de una unidad de filtración de agua de formación de pozos petroleros*. Quito.

Mozia, S., Tomaszewska, M., y Morawski, A. (2005). Removal of azo- dye Acid Red 18 in two hybrid membrane systems employing a photodegradation process. *2nd Membrane Science and Technology Conference of Visegrad Countries (PERMEA)*, (págs. 183-190). Polanica Zdroj, Polonia.

Piña Mondragón, S. (2007). Decoloración biológica del colorante azul directo 2 en un filtro anaerobio/aerobio (Tesis de maestría inédita). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Salazar, L., Crespi, M., y Salazar, R. (2009). Tratamiento de aguas residuales textiles mediante un biorreactor de membrana. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo* , 26-28.

Tchobanoglous, G., Burton, F., y Stensel, D. (2002). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Massachusetts: McGraw-Hill Education.



ANEXO 2: FICHA TÉCNICA DE PERIFLOC

D-72770 Reutlingen
Ferdinand-Lessing-Straße 57
Telefon: (+49) 7121/95 89 0
Telefax: (+49) 7121/95 89 33
Internet: <http://www.drpetry.de>
e-mail: office@drpetry.de



TEXTILCHEMIE
DR. PETRY GMBH

Representante en el Perú:
Inauma Químicos Alfa S.A.C.
Isla Castro Romeros 735 Lima
[ale](mailto:ale@inacmaquimicos.com)
ale@inacmaquimicos.com

PERIFLOC R conc.

Flocculant for anionic dyes in the waste water

Chemical type:	amine condensate
Characteristics:	colourless, clear liquid cationic slightly acid readily dilutable with water
Special properties:	PERIFLOC R conc. is a cationic condensation product for flocculating anionic dyes as reactive, direct and acid dyes from waste water and purification plants. PERIFLOC R conc. is a liquid product and therefore is easy to handle. PERIFLOC R conc. can be combined with other inorganic and organic flocculants.
Scope:	Flocculation of concentrated residual and rinsing liquors as well as waste water.
Application:	Flocculation of concentrated residual and rinsing liquors (> 50 mg/l dyestuff). The liquor and PERIFLOC R conc. must be mixed very carefully. Therefore, PERIFLOC R conc. should be prediluted 1:5 - 1:10 before dosing into the liquor. Flocculation occurs within approx. 20 minutes. Depending on the purification plant a floating or a sedimentation of the flocks occurs. After dewatering the separated sludge can be conveyed for combustion.
Application examples:	Reactive dyes: 0.1 - 1.0 ml PERIFLOC R conc. Direct dyes: 0.05 - 1.0 ml PERIFLOC R conc. Acid dyes: 0.05 - 1.0 ml PERIFLOC R conc.

